

Mikko Vaittinen

Valmistettavuuden suunnittelu mukautuvassa elektroniikkatuotannossa

Sähkötekniikan korkeakoulu

Diplomityö joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi diplomi-insinöörin tutkintoa varten Espoossa 21.3.2011

Työn valvoja: FT Antti Rahtu

Työn ohjaaja: Prof. Mervi Paulasto-Kröckel



AALTO-YLIOPISTO
SÄHKÖTEKNIIKAN KORKEAKOULU

DIPLOMITYÖN
TIIVISTELMÄ

Tekijä: Mikko Vaitinen		
Työn nimi: Valmistettavuuden suunnittelu mukautuvassa elektroniikkatuotannossa		
Päivämäärä: 21.3.2011	Kieli: Suomi	Sivumäärä: 7 + 78
Sähkötekniikan korkeakoulu		
Elektroniikan laitos		
Professori: Bioadaptiivinen tekniikka		Koodi:S-113
Valvoja: Prof. Mervi Paulasto-Kröckel		
Ohjaaja: FT Antti Rahtu		
<p>Länsimaaisissa teolliset yritykset erityisesti elektroniikan valmistuksen alalla ovat jatkuvan tiukan kilpailun kohteena. Tämän seurauksena yritysten on länsimaissa kiinnitettävä erityistä huomiota tuotantonsa tehokkuuteen. Näiden yritysten on mahdotonta kilpailla halpatuotantomaita vastaan, mikäli niiden tuottavuus on samalla tasolla halpatuotantomaiden kanssa.</p> <p>Japanilaiset valmistajat osoittivat lean-ajattelun avulla saavutettavat edut ja siksi länsimaiset valmistajat ovat myös ryhtyneet soveltamaan näitä periaatteita. Valmistettavuuden suunnittelu on ollut toinen seikka, jolla tuotantoa on tehostettu ja sen kustannuksia pystytty pienentämään.</p> <p>Tässä työssä tarkastellaan lean-ajattelun ja valmistettavuuden yhdistämistä tuotteen tuotekehitysvaiheessa elektroniikkateollisuudessa. Lean-ajattelun osalta keskitytään erityisesti tuotantosolujen toimintaan. Lisäksi tässä työssä on esitetty, miten esimerkkiyrityksen yhden tuotteen loppukokoonpanoon on tehty lean-muutos. Tämän esimerkitapauksen avulla tunnistettiin ne keskeiset seikat tuotteen valmistettavuudessa, jotka tulee ottaa huomioon, jotta tuote voidaan valmistaa lean-tuotantomenetelmillä mahdollisimman tehokkaasti.</p>		
Avainsanat: Lean, valmistettavuus, U-solu, virtaus, imu, kokoonpantavuus		

AALTO UNIVERSITY
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING

ABSTRACT OF THE
MASTER'S THESIS

Author: Mikko Vahtinen

Title: Design for manufacturing in flexible electronics production

Date: 21.3.2011

Language: Finnish

Number of pages: 7 + 78

School of Electrical Engineering

Department of Electronics

Professorship: Bioadaptive technology

Koodi:S-113

Supervisor: Prof. Mervi Paulasto-Kröckel

Instructor: FT Antti Rahtu

Western companies especially in the field of electronics manufacturing are facing strong competition. Consequently, companies must pay special attention to the efficiency of their production. They cannot compete against companies in countries with significantly lower labor costs, even if their productivity is at the same level.

Japanese manufacturing companies have shown the benefits that can be achieved by implementing lean thinking in manufacturing. As result, also western companies have started to adopt the lean principles in their own production. In search of efficiency, improvements, and cost reductions, companies have also started to implement the design for manufacturing principles.

This thesis examines how to combine design for manufacturing and lean principles in a product development project in the electronics industry. Lean thinking is primarily discussed with reference to lean production cells. In addition, this study describes how a lean transformation is done to the final assembly line of an electronic device. The analysis of this example product provides the basis for determining the critical factors in design for manufacturability that affect our ability to manufacture the product according to the principles of lean thinking

Keywords: lean production, design for manufacturing, U-cell, flow, design for assembly

Esipuhe

Haluan kiittää työn ohjaajaa Antti Rahtua erinomaisesta ohjauksesta sekä hyvistä neuvoista ja keskusteluista, joita on käyty tämän työn sisällöstä. Lisäksi haluan kiittää Professori Mervi Paulasto-Kröckeliä ja Vesa Vuorista työn muotoseikkohin liittyvistä kommentteista.

Otaniemi, 21.3.2011

Mikko J. Vaittinen

Sisällysluettelo

Tiivistelmä	ii
Abstract.....	iii
Esipuhe	iv
Sisällysluettelo	v
Symbolit ja lyhenteet	vii
1 Johdanto.....	1
2 Valmistuksen suunnittelu	3
2.1 Rinnakkaissuunnittelu	5
2.2 Kaikkien sisäisten ja ulkoisten asiakastarpeiden huomioiminen tuotteen suunnittelussa	5
2.3 Valmistettavuus.....	7
2.3.1 Tuotekehityksen läpimenoaika	7
2.3.2 Laatu.....	9
2.3.3 Tuotteiden räätälöinti.....	10
2.3.4 Kustannukset.....	11
2.4 Kokoonpantavuus	11
2.5 Työkalut.....	13
2.5.1 Asiakaskeskeinen suunnittelu.....	13
2.5.2 Vika- ja vaikutusanalyysi.....	14
2.5.3 DFA-suunnittelusuositukset.....	15
2.5.4 Standardointi.....	15
2.5.5 Kokoonpantavuuden arviointi työkalut.....	16
2.6 DFMA-prosessin yleinen rakenne	18
3 Lean-ajattelu	19
3.1 Lean-tuotannon historiallinen tausta.....	19
3.2 Mitä lean on	20
3.3 Hukka.....	21
3.3.1 Ylituotanto	22
3.3.2 Odottelu	22
3.3.3 Tarpeeton kuljetus.....	22
3.3.4 Tarpeeton käsittely	22
3.3.5 Varastot.....	22
3.3.6 Tarpeeton liike.....	23
3.3.7 Virheet.....	23
3.3.8 Inhimillisen osaamispääoman hukka	23
3.4 Lean-periaatteet	23
3.4.1 Arvo.....	23

3.4.2 Arvovirran tunnistaminen.....	24
3.4.3 Virtaus	24
3.4.4 Imuohjautuvuus	25
3.4.5 Täydellisyyden tavoittelu.....	25
3.5 Neljän P:n malli.....	25
3.5.1 Filosofia.....	26
3.5.2 Prosessi	26
3.5.3 Ihmiset ja kumppanit	26
3.5.4 Ongelman ratkaisu	27
3.6 Toyotan talomalli	27
3.6.1 Juuri oikeaan aikaan.....	28
3.6.2 Jidoka	32
3.6.3 Tasoitettu tuotanto	33
3.6.4 Stabiili ja standardoitu prosessi	34
3.6.5 Ihmiset ja yhteistyö	34
3.6.6 Hukan vähentäminen	34
3.7 Tuotantosolu.....	36
3.7.1 Lean-periaatteiden toteutuminen solussa	36
4 Tutkimusaineisto ja -menetelmät.....	40
4.1 DFA-prosessi	40
4.1.1 Prosessin kuvaus	40
5 Esimerkkitapaus: DFM tuotteen loppukokoonpano lean-solu	45
5.1 Koko tuotantoketjun suunnittelu	45
5.1.1 Arvovirran määrittäminen	45
5.1.2 Prosessin tulevaisuuden tavoitetilä	46
5.2 Lean-talon rakennus	49
5.2.1 Esimerkki vanhasta loppukokoonpanolinjasta.....	49
5.2.2 Solun rakennuksen työvaiheet	51
5.2.3 Vanhan ja uuden linjan vertailua	58
5.3 Uudentuotteen DFM-projekti	62
5.3.1 DFM tuotannonprojektin suunnittelu päivä.....	62
5.3.2 3D-mallien kommentoiminen 1. kerta	62
5.3.3 Pikamallien ja 3D-mallien kommentoiminen 2. kerta.....	63
5.3.4 Tuotannon uusi pohjapiirros.....	64
6 Yhteenveto	68
Viitteet.....	72
Liite A.....	75

Symbolit ja lyhenteet

Symbolit

Q_p	Tuotteen laatutaso mitattuna niin, että se kertoo kuinka suuri osa tuotteista toimii normaalisti tai ovat virheettömiä.
Q_n	N:nen komponentin laadukkuus.

Lyhenteet

DFM	Valmistettavuus (eng. Design For Manufacturing)
GE	General Electric
DFA	Kokoonpantavuus (eng. Design For Assembly)
DFLC	Tuotteen elinkaariajattelu (eng. Design For Lifecycle)
DFX	Kaikkien sisäisten ja ulkoisten asiakastarpeiden huomioiminen tuotteen suunnittelussa (eng. Design For eXcellence)
DPM	Laatutaso ilmoitettu viallisten tuotteiden määränä miljoonassa tuotteessa (eng. Defects Per Million,).
QFD	Asiakaskeskeinen suunnittelu (eng. Quality Function Deployment)
FMEA	Vika- ja vaikutusanalyysi (eng. Failure Mode and Effect Analysis)
DFMEA	Suunnittelun vika- ja vaikutusanalyysi (eng. Design Failure Mode and Effect Analysis)
PFMEA	Prosessin Vika- ja vaikutusanalyysi (eng. Process Failure Mode and Effect Analysis).
RPN	Riskin suuruutta kuvaava arvo (eng. Risk Priority Number)
AEM	Hitachin kokoonpantavuuden arviointimenetelmä (eng. Hitachi Assembly Evaluation Method)
DFMA	Valmistettavuuden ja kokoonpantavuuden suunnittelu (eng. Design For Manufacturing and Assembly)
BD DFMA	Boothroyd-Dewhurst DFMA
VSM	Arvovirtakartta (eng. Value Stream Map)
TPS	Toyotan tuotanto järjestelmä (eng. Toyota Production System)
JIT	Juuri oikeaan aikaan (eng. Just-In-Time)
TT	Tahtiaika (eng. Takt Time)
DD	Päivittäinen kysyntä (eng. Daily Demand)
SMED	Menetelmän asetusajojen minimointiin (eng. Single Minute Die Change, SMED)
FIFO	Jono, jossa ensin sisään tulleet lähtevät ensimmäisenä myös ulos
5S	Hukan minimointiin käytettävä työkalu
U-solu	Lean-tuotannossa käytetty erikoistapaus solutuotannosta
MO-CO-MOO	Tee yksi - tarkasta se - siirrä se eteenpäin (eng. Make One- Check One - Move One On)
MT	Prosessiaika (eng. Machine Time)
CT	Jakson aika (eng. Cycle Time).
TPT	Läpimenoaika (eng. ThroughPut Time)

1 Johdanto

Jatkuvasti kovenevassa kansainvälisessä kilpailussa yritykset yrittävät jatkuvasti tehostaa omaa toimintaansa. Valmistavassa teollisuudessa tämä tarkoittaa erityisesti kustannustehokkuuden parantamista. Perinteisesti länsimaissa teollisessa tuotannossa on pyritty kasvattamaan tuotannon eräkokoja, jotta yksittäisten prosessivaiheiden tehokkuus ja käyttöaste on saatu maksimoitua. Tässä perinteisessä massatuotannollisessa lähestymistavassa on se ongelma, että se ei huomio tuotantoprosessia kokonaisuutena vaan se keskittyy osaoptimoimaan tuotantoprosessin erillisiä prosessivaiheita.

90-luvun alku puolella länsimaissa yrityksissä havaittiin, miten japanilaiset yritykset pystyivät tuottamaan laadultaan huippuluokkaisia tuotteita asiakkaille erittäin kilpailukyiseen hintaan ja tämän seurauksena ne valtasivat markkinoita omilla tuotteillaan. Japanilaisilla yrityksillä ei ollut mitään selkeää kilpailuetua, jonka takia he olisivat pystyneet tekemään tämän. Japanilaisilla yrityksillä ei ollut käytössään halpaa työvoimaa eikä Japani ole tunnettu suurista luonnonvaroistaan. Asia kiinnosti erityisesti länsimaista autoteollisuutta, koska se hävisi omilla kotimarkkinoillaan markkinaosuutta japanilaisille auton valmistajille hyvin nopeasti. 80- ja 90-luvuilla tehtiin kansainvälisiä vertailuja autoteollisuudessa ja yksi keskeisin havainto näissä tutkimuksissa oli, että japanilaisten käyttämät tuotantoprosessit olivat merkittävästi tehokkaampia, kuin länsimaiset massatuotantomenetelmät.

Näiden tutkimustulosten perusteella länsimaissa kiinnostuttiin japanilaisista tuotantomenetelmistä ja niistä tuli aktiivisen tutkimuksen kohde länsimaissa. Japanilaisten tuotantomenetelmissä korostui se, että niissä tuotantoprosessia ajateltiin kokonaisuutena, eikä yksittäisiä prosessivaiheita ajateltu itsenäisinä. Lisäksi japanilaisten tuotantomenetelmässä oli keskeisessä asemassa kaikkien turhien ja hankalien työvaiheiden poistaminen, eli siinä pyrittiin tuotantoprosessista poistamaan kaikki ylimääräinen ns. hukka. Tästä syystä japanilainen tuotantomenetelmä nimettiin länsimaissa 90-luvun alussa lean-tuotantomenetelmiksi.

Sittemmin lean-tuotantomenetelmiä on alettu soveltaa moniin erilaisiin valmistus ja palveluprosesseihin. Lean-menetelmissä pyritään lyhentämään tuotteiden läpimenoaikaa tuotantoprosessissa.

Valmistettavuuden suunnittelu on menetelmä jota käytetään tuotteensuunnittelussa ja sillä varmistetaan, että erityisesti tuotannon näkökulma tulee huomioiduksi tuotetta suunniteltaessa. Valmistettavuuden suunnittelun avulla varmistetaan, että suunniteltava tuote on mahdollista valmistaa tehokkaasti ja laadukkaasti. On havaittu, että kiinnittämällä huomiota tuotteiden valmistettavuuteen, voidaan ratkaisevasti vaikuttaa suunniteltavan tuotteen tuotekehitysprojektin kokonaiskestoon, laatuun, räätälöitävyyteen ja ennen kaikkea kustannuksiin.

Valmistavan teollisuuden on länsimaissa ollut pakko kiinnittää huomiota oman toimintansa tehokkuuteen tiukentuneen kilpailutilanteen takia. Yritysten on jatkuvasti mietittävä tehdäänkö tuotteet alihankintana halpatuotantomaissa vai kokoonpannaanko laitteet edelleen yrityksen kotimaassa. Samaan aikaan yrityksen asiakkaat ovat maapallon eri puolilla. Valmistuskustannukset yrityksen kotimaassa ovat huomattavasti suuremmat kuin halpamaissa. Tästä johtuen yritysten, jotka pitävät tuotantonsa länsimaissa on tehtävä omasta tuotannostaan merkittävästi tehokkaampi ja laadullisesti

parempi, mikäli ne haluavat säilyä kilpailukykyisiä. Tästä syystä yritykset ovat ryhtyneet soveltamaan valmistettavuuden suunnittelua ja lean-ajattelua omassa tuotannossaan

Tämän työntarkoituksena on, selvittää miten valmistettavuuden suunnittelu ja lean-tuotanto sopivat yhteen. Erityisesti kiinnitetään huomiota siihen, mitä vaatimuksia tulisi ottaa huomioon valmistettavuusprosessissa, kun suunnitellaan tuotetta, joka tullaan valmistamaan lean-tuotannossa. Tutkimuksen tavoitteena oli tunnistaa ne seikat, jotka ovat kriittisimpiä tuotteen kannalta, jotta se voidaan onnistuneesti valmistaa lean-tuotannossa.

Tässä työssä tarkastellaan ensin, mitä valmistettavuus on ja mitkä ovat sen keskeiset tavoitteet. Lisäksi käsitellään valmistettavuuden alikäsitteitä kuten kokoonpantavuutta. Tämän jälkeen työssä käsitellään keskeiset lean-periaatteet ja mitä työkaluja käytetään näiden periaatteiden toteuttamisessa tuotannossa. Työssä keskitytään erityisesti niihin lean-työkaluihin, joita käytetään lean-tuotantosoluissa.

Työssä tarkastellaan lean-tuotantosoluja, koska esimerkkitapauksen yrityksessä on tehty paljon töitä massatuotantotehtaan muuttamisessa lean-tuotantomalliin. Yrityksessä on kiinnostuttu siitä, miten tuotteen ja tuotantoprosessin suunnittelulla voidaan vaikuttaa lean-periaatteiden toteuttamiseen tuotannossa. Lisäksi työssä keskitytään loppukokoonpanosoluun, koska koko tuotantoprosessin läpikäynti ei ole mahdollista tässä työssä.

Tämän työn kokeellinen osuus koostuu esimerkkitapauksesta, jossa lähdettiin suunnittelemaan korvaavaa tuotetta yhdelle esimerkkiyrityksen tuotteelle. Tuotteen suunnittelussa kiinnitettiin erityistä huomiota tuotteen valmistettavuuteen ja tuotannon intresseissä oli varmistaa, että uuden tuotteen tuotanto tullaan toteuttamaan lean-periaatteiden mukaan. Uuden tuotteen kehitysprojekti aloitettiin poikkeuksellisesti tekemällä laaja kokonaiskartoitus nykyisen tuotteen tuotantoprosessista ja tämän jälkeen tehtiin yksityiskohtainen suunnitelma siitä millainen uuden tuotteen valmistusprosessin tulee olla.

Tämän jälkeen rakennettiin koetuotantosolu vanhalle tuotteelle, joka toimii lean-periaatteiden mukaisesti ja sen avulla selvitettiin, miten uuden tuotteen valmistettavuudessa ja valmistusprosessissa tulisi ottaa huomioon nykyisen tuotteen ongelmat. Koesolun avulla parannettiin nykyisen tuotteen loppukokoonpanoa ja samalla kerättiin tärkeää tietoa siitä, mitä tulee huomioida uuden tuotteen kohdalla.

Lisäksi tässä työssä käsitellään sitä, miten tuotanto oli mukana valmistettavuusanalysoinnissa tämän uuden tuotteen kohdalla. Uusi tuote oli tuotekehitysprojektissa vasta niin alkuvaiheessa, että tuotteesta oli olemassa vasta 3D-malleja ja joistain yksittäisistä komponenteista oli olemassa prototyyppejä. Näitä 3D-malleja ja prototyyppejä arvioitiin valmistettavuuden ja kokoonpantavuuden kannalta. Lopuksi kaikki saatu tieto on kerätty yhteen yhteenvedossa, tämän työnlopussa.

2 Valmistuksen suunnittelu

Valmistuksen suunnittelu (eng. Design For Manufacturing, DFM) on suunnitteluprosessi, jossa ennakoivasti pyritään optimoimaan ensin kaikki valmistusosa-alueet, valmistus, kokoonpano, testaus, hankinta, kuljetus, huolto ja korjaus. Toiseksi varmistetaan, että tuotekehitysprosessilla saavutetaan paras mahdollinen kustannustehokkuus, laatu, luotettavuus, säännösten mukaisuus, turvallisuus, tuotekehityksen läpimenoaika ja asiakastyytyväisyys. Lisäksi prosessissa huolehditaan siitä, että puutteet tuotteen valmistettavuudessa eivät vaaranna tuotteen toiminnallisuutta, muotoilua, uusien tuotteiden julkaisua, tuotteen toimitusta parannusohjelmia, strategisia hankkeita tai aiheuta odottamatonta aaltoilua tuotteen kysyntään.[1]

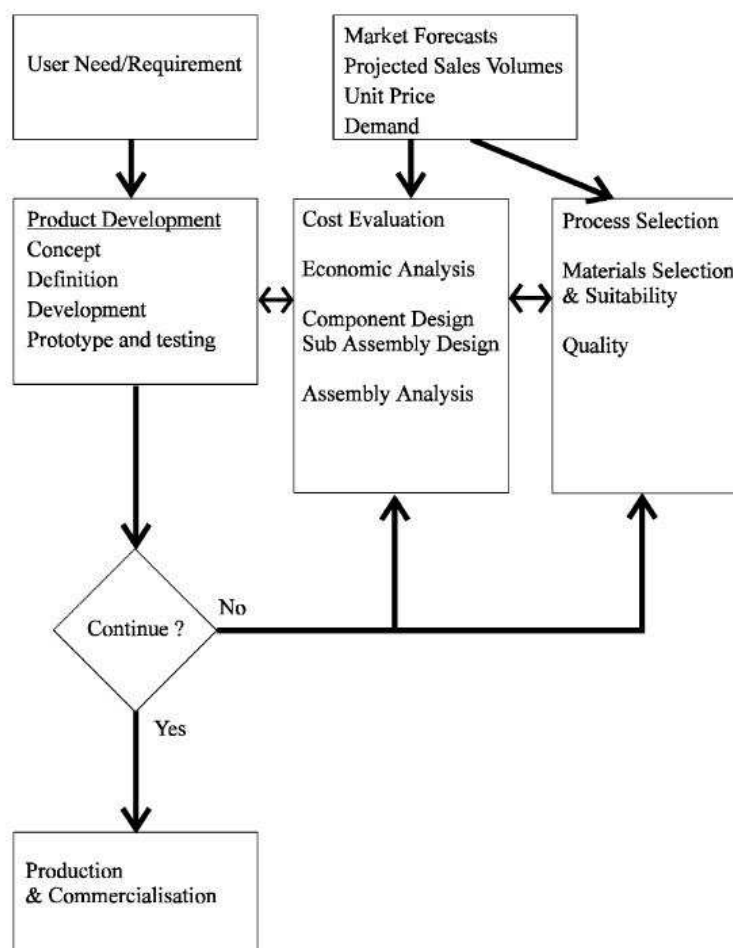
Käytännössä DFM tarkoittaa tuotteiden suunnittelua niin, että suunnitteluprosessin aikana otetaan huomioon, millä valmistusmenetelmillä tuote on kaikkein helpoin ja halvin valmistaa. DFM ei ole uusikeksintö, sillä jo 1788 ranskalainen LeBlanc kehitti musketin valmistusmenetelmän, jonka avulla muskettien osat olivat keskenään vaihdettavissa[2]. Tätä ennen kaikki musketit oli tehty käsityönä yksittäiskappaleina. LeBlanc määritteli, jokaiselle musketin osalle toleranssit, joiden sisällä kappaleen mitat sai vaihdella ja kehitti tuotantomenetelmiä, jotka olivat toistettavia. Näiden oivallusten avulla musketteja voitiin tehdä paljon nopeammin, halvemmalla ja muskettien laatu oli myös paljon parempi kuin aikaisemmin.

Vuonna 1908 Ford esitteli T-mallinsa ja tämä oli ensimmäinen teollisesti massatuotantona tuotettu auto[3]. Fordin T-mallissa oli kaksi keskeistä etua, ensinäkin sen suunnittelussa oli otettu huomioon valmistettavuus ja toiseksi se oli käyttäjäystävällinen. T-Ford oli ensimmäinen auto, jonka suunnittelussa oli käytetty DFM-menetelmiä ja itse asiassa juuri tämä DFM-ajattelu mahdollisti Henry Fordin suurimman innovaation, eli liikkuvan tuotantolinjan. T-Fordin kaikki komponentit oli suunniteltu ja valmistettu niin, että ne kävivät mihin tahansa T-Fordiin. Lisäksi komponenttien kiinnittäminen toisiinsa oli tehty helpoksi ja nopeaksi, muuten osien kiinnittämistä ei olisi voinut tehdä riittävän nopeasti liikkuvalla tuotantolinjalla.

1960-luvulla monet amerikkalaiset yritykset kehittivät omia valmistusohjesääntöjään ja kaikkein tunnetuin näistä oli General Electricin (GE) Manufacturing Producibility Handbook[4]. GE:n kehittämä kirja oli sisäiseen käyttöön tarkoitettu ja se julkaistiin vuonna 1960. Kirjan ohjeet oli suunnattu erityisesti sovellettavaksi tuotteen suunnitteluvaiheessa. Ohjeeseen kerättiin kaikki saatavilla oleva informaatio ja sen ajateltiin toimivan lähdeteoksena, jonka avulla suunnittelijat saavat nopeasti tietoa valmistettavuudesta[5]. GE:n ohje keskittyi kuitenkin siihen, miten yksittäisiä komponentteja tehdään mahdollisimman tehokkaasti ja siinä ei juurikaan käsitelty koko tuotteen valmistettavuutta tai kokoonpanoa.

1970-luvun alusta eteenpäin Boothroyd ja Drewhurst tekivät kokeita kokoonpantavuuden (eng. Design For Assembly, DFA) vaikutuksista tuotteen kokoonpanomenetelmiin ja tuotteen kustannuksiin[5]. He selvittivät, mitä reunaehtoja tulisi ottaa huomioon tuotetta suunniteltaessa, jotta sen kokoonpano olisi mahdollisimman helppoa. DFA-tutkimuksissa havaittiin, että kokoonpanoaika oli hyvä mittari, kun etsittiin niitä tuotteen designmuutoksia, joiden avulla tuotteen lopullisia kustannuksia pystyttiin pienentämään. DFA-lähestymistapa ottaa huomioon vain

kokoonpantavuus näkökulman, mutta 1980-luvulla siirryttiin pelkästä kokoonpantavuuden suunnittelusta koko tuotteen kaikkien suunnittelutavoitteiden ja -rajoitteiden huomioonottamiseen tuotannon kannalta[5]. Tätä prosessia kutsuttiin DFM:ksi. O'driscoll esitteli DFM:stä vuokaaviomallin [2] helpottamaan tuotesuunnittelijoiden mahdollisuuksia implementoida DFM:ä tuotesuunnittelun aikana. Vuokaavio esitetty kuvassa 1. DFM:n ja DFA:n käyttöön otolla havaittiin olevan monia parannuksia, muun muassa tuotteiden valmistusprosessit yksinkertaistuivat. Lisäksi suunnittelu-, osto- ja valmistuskustannukset pienenivät merkittävästi. Myös tuotteiden laatu parani ja tuotekehitysprojekteihin kulunut aika lyheni.



Kuva 1. O'driscollin DFM vuokaaviomalli[2].

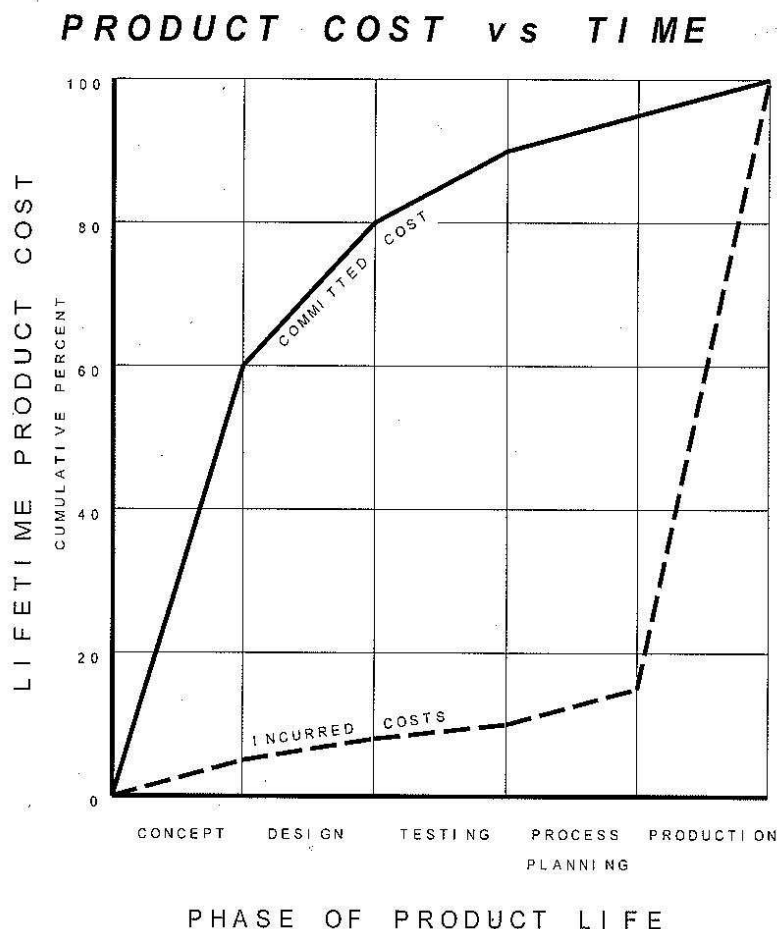
Viimeaikoina on alettu kiinnittää huomattavasti enemmän huomiota valmistettavien tuotteiden ja valmistusmenetelmien ympäristövaikutuksiin. Lisäksi on kiinnostus tuotteiden elinkaariajattelua (eng. Design For Lifecycle, DFLC) kohtaan on noussut. Tämän seurauksena on keskitytty erityisesti tuotteiden purettavuuden ja kierrätettävyyden suunnitteluun. Ympäristövaikutusten huomioimisen lisäksi tuotesuunnittelun uusia osa-alueita ovat laatu, luotettavuus ja toimitusketjun hallintaan liittyvät seikat. Yhdessä näistä eri suuntauksista käytetään nimeä kaikkien sisäisten ja ulkoisten asiakastarpeiden huomioiminen tuotteen suunnittelussa (eng. Design For eXcellence, DFX), missä X tarkoittaa mitä tahansa rajoitetta tai suunnittelu tavoitetta.[4]

2.1 Rinnakkaissuunnittelu

Rinnakkaissuunnittelu (eng. Concurrent engineering) tarkoittaa tuotekehitysmenetelmää, jossa tuotteita kehitetään yhtä aikaa niiden valmistusmenetelmien kanssa, joilla tuote tullaan valmistamaan[6]. On havaittu, että rinnakkaissuunnittelu vaatii huomattavasti tietotaitoa tuotantoprosesseista ja siksi on todettu, että yksi parhaista menetelmistä rinnakkaissuunnittelun toteuttamiseen on käyttää moniosaavia tiimejä (eng. multi functional teams). Moniosaavissa tiimeissä on jäseniä kaikilta tarvittavilta erikoisalueilta, yleensä vähintään ainakin tuotekehityksen ja tuotannon edustajia, mutta tarvittaessa kaikilta muilta tarpeellisilta osa-alueilta, kuten esimerkiksi ostosta ja markkinoinnista. Tärkeää rinnakkaissuunnittelu lähestymistavassa on se, että kaikki tarvittavat resurssit ovat kehitysprojektin käytettävissä ja aktiivisia heti projektin alussa[6].

2.2 Kaikkien sisäisten ja ulkoisten asiakastarpeiden huomioiminen tuotteen suunnittelussa

Perinteisesti tuotekehityksessä on tuotteen suunnittelun pohjana on ollut asiakastarpeet, joiden mukaan tuotetta on lähdetty kehittää siten, että asiakastarpeet tulee tyydytettyä. Myöhemmin on kuitenkin havaittu, että tuotekehitysprosessilla on myös muita asiakkaita, joiden tarpeita ei ole tässä perinteisessä mallissa otettu huomioon riittävän aikaisessa vaiheessa. Tämä havaitaan, kun tarkastellaan tuotteen kustannuksia. Tuotekehitysprojektin kustannusten toteutumista projektin erivaiheissa havainnollistetaan kuvassa 2.



Kuva 2. Tuotteen elinkaarikustannukset ajan suhteen. X-akselilla tuotteen vaiheet tuotekehitysprojektissa ja y-akselilla tuotteen elinkaarenaikana aiheutuvat kustannukset [1].

Kuvasta 2 nähdään, että noin 80 % tuotteen lopullisista kustannuksista määräytyy jo tuotteen suunnitteluvaiheessa. Kuvasta nähdään myös, että jo tuotteen konseptisuunnitteluvaiheessa määräytyy 60 % tuotteen lopullisista kustannuksista. Mikäli tuotteen suunnittelussa, ei huomioida jo alkuvaiheessa kaikkia asiakkaita, niin sisäisiä kuin ulkoisiakin, niin tällä on todennäköisesti seurauksia tuotteen lopullisiin kustannuksiin. Mitä myöhäisemmässä vaiheessa projektiin tehdään muutoksia, sitä enemmän ne tulevat maksamaan. Kaikkien osapuolten huomioonottamisella jo projektin alkuvaiheessa ehkäistään se, että projektin loppuvaiheessa tai tuotteen julkistuksen jälkeen ei tuotteeseen täydy tehdä suuria muutoksia. DFX on järjestelmällinen tapa hyödyntää kaikkien osapuolten aikainen osallistuminen ja toiminta tuotekehitysprojektissa[7].

Tuotanto on ollut ensimmäinen sisäinen asiakas, jonka tarpeita on pyritty huomioimaan tuotekehitys projekteissa, sillä on havaittu että tuotteiden tehokkaalla valmistuksella voidaan saavuttaa merkittäviä kustannussäästöjä ja parantaa tuotteiden laatua. DFX:n avulla on mahdollista levittää tietoa ja parhaita toimintatapoja koko yrityksen tasolla, kun kaikki osapuolet ovat mukana jo projektin alkuvaiheessa.

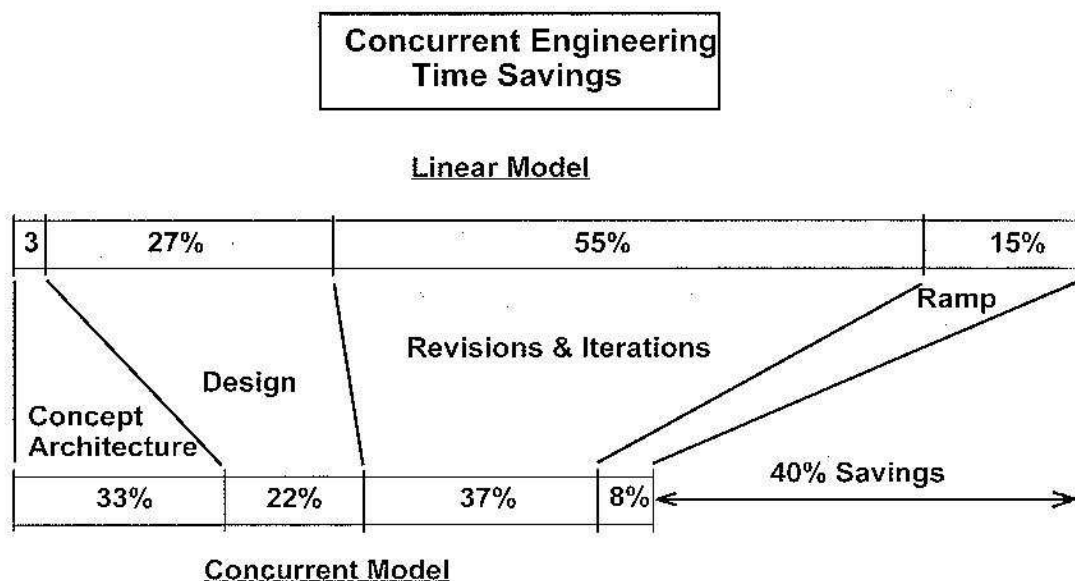
2.3 Valmistettavuus

DFM:n merkitys korostuu nykyään, koska tuotteisiin tulee jatkuvasti uusia ominaisuuksia ja ne tekevät tuotteista entistä monimutkaisempia. Lisäksi tuotteita täytyy valmistaa suurempia määriä lyhyessä ajassa, sillä tuotteiden elinikä markkinoilla lyhenee koko ajan. Tuotteiden täytyy tyydyttää yhä moninaisempia asiakastarpeita, sillä eri asiakasryhmät eriytyvät toisistaan yhä enemmän. Lisäksi tuote saatetaan lanseerata äärimmäisen kilpailuille markkinoille ja sen tulee olla mahdollisimman laadukas. Kaupallisen tuotteen suunnittelu on kompromissin etsimistä ristiriitaisten tavoitteiden välillä. Kaikkein suurin ristiriita yleensä on asiakastarpeiden tyydyttämisen kustannusten ja tuotteen myynti hinnan välillä. DFM on hyvä menetelmä löytää optimaalinen kompromissi, jolloin asiakkaalle voidaan tarjota korkealaatuinen ja suorituskykyinen tuote kilpailukykyiseen hintaan minimi kustannuksilla. [2]

David M Andersson tunnistaa kirjassaan "Design for manufacture and Concurrent engineering" [1] neljä kriittisintä tekijää tuotekehitysprojektissa. Ensimmäinen tekijä on tuotekehityksen läpimenoaika. Tuotekehityksen läpimenoaika on aika, joka kuluu tuotekehitys projektin alkamisesta siihen, kun tuotannossa saavutetaan stabiili ja ongelmaton tuotanto. Toinen seikka jota Andersson korostaa on se, että ainoa tapa laadukkaan tuotteen aikaansaamiseksi on suunnitella tuote laadukkaaksi ja tämän jälkeen rakentaa laatu tuotteeseen. Tällä Andersson haluaa korostaa sitä, että tuotteen suunnittelulla on yhtä suuri vaikutus tuotteen laatuun kuin sen valmistukseen käytetyillä menetelmilläkin. Kolmas Anderssonin tunnistama tekijä on se, että kaikkein tehokkain tapa räätälöidä tuotteet on käyttää massaräätälöinti periaatteita. Massaräätälöidyt tuotteet soveltuvat hyvin valmistettaviksi lean-tuotantomenetelmin. Neljäs Anderssonin esille nostama seikka on tuotesuunnittelun vaikutus tuotteen kustannuksiin. Erityisesti tuotekehitysprojektin alkuvaiheessa tehdään päätöksiä jotka määrittävät yli 60 % tuotteen lopullista kustannuksista ja siksi kustannusten pienentäminen projektin myöhemmässä vaiheessa on äärimmäisen vaikeaa.[8]

2.3.1 Tuotekehityksen läpimenoaika

Tuotekehitysprojektin nopeutta kuvaa se aika, joka kuluu tuotteen syntymiseen tuoteideasta valmiiksi tuotteeksi. Tässä yhteydessä valmis tuote tarkoittaa sitä, että sen tuotanto on stabiilia ja ongelmatonta. Tuotekehitysprojekti voidaan jakaa neljään vaiheeseen, joita ovat konsepti ja tuotearkkitehtuurivaihe, suunnitteluvaihe, muutos ja iterointivaihe, tuotantomäärän kasvattaminen. Nämä eri vaiheet on kuvattu kuvan 3 yläosassa. Tämä tuotekehityksen läpimenoaika riippuu merkittävästi siitä, kuinka paljon muutoksia ja iterointia tarvitsee tehdä tuotannon aloitusvaiheessa.



Kuva 3. Rinnakkaissuunnittelulla ja DFM:llä saavutetut aika säästöt Lexmarkilla [8].

Kuvassa 3 on esitetty, miten Lexmark on pienentänyt tuotekehityksensä läpimenoaikaa käyttämällä rinnakkaissuunnittelua ja DFM-menetelmiä. Suurimmat muutokset ovat konsepti ja tuotearkkitehtuurivaiheen suhteellisen osuuden merkittävä kasvu sekä muutos ja iterointi vaiheen suhteellisen osuuden merkittävä pieneneminen.

Koko tuotekehitysprojektin kannalta on tärkeintä, että konseptisuunnittelu ja tuotearkkitehtuurivaihe tehdään kunnolla ja siihen panostetaan. Tässä vaiheessa valitaan suuntaviivat, joiden mukaan koko tuote suunnitellaan. Toinen seikka, joka tulee huomioida on se, että konseptivaiheessa kaikkien osapuolten tulee olla mukana projektissa tasapuolisesti[3]. Jokaiselta osa-alueelta, jota projekti koskee on edustaja mukana konsepti- ja tuotearkkitehtuuri vaiheessa. Kuten kuvasta 3 nähdään panostamalla tähän projektin ensimmäiseen vaiheeseen vähennetään ongelmia projektin loppuvaiheessa. Tuotekehityksen läpimenoajan lyhennyksestä 40 % johtuu panostuksesta konsepti- ja tuotearkkitehtuurivaiheeseen. Tällöin on pystytty ottamaan jo konseptivaiheessa kaikkien osapuolten vaatimukset huomioon parhaalla mahdollisella tavalla. Lisäksi kaikki osapuolet ovat olleet mukana tuotteen arkkitehtuurin optimoinnissa. Tuotteen arkkitehtuurin optimointi on tehtävä kaikkien osapuolien yhteistyönä, muuten on vaarana, että tuotantoon päättyy tuote, joka on hankala ja kallis valmistaa[9].

Konsepti- ja arkkitehtuurivaiheen tulisi sisältää Anderssonin mukaan neljä osa-aluetta. Tuotteen määrittelyvaihe, jossa määritellään mitä asiakas haluaa. Tällä ehkäistään se, että projektin myöhemmässä vaiheessa tulee esille asiakastarpeita, joita ei ole aiemmin otettu huomioon. Toinen osa-alue on ongelmien ratkaisu ja sillä pyritään varmistamaan, että kaikki mahdolliset ongelmat nostettaisiin esille jo aikaisessa vaiheessa ja, että ne voitaisiin ratkaista heti. Mikäli ongelmiin joudutaan etsimään ratkaisua myöhemmässä vaiheessa, niiden ratkaiseminen voi olla hyvin kallista. Kolmas osa-alue on tuotekonseptin yksinkertaistaminen, jossa tuotteen arkkitehtuuria kokonaisuudessaan yksinkertaistetaan. Tässä vaiheessa pyritään tunnistamaan mahdollisuudet yksinkertaistaa tuotetta vähentämällä osien määrä tai yhdistämällä niitä, integroimalla useampia mikropiirejä samalle sirulle tai tarkastelemalla mahdollisuutta tehdä tuotteesta modulaarinen. Neljäs osa-alue on tuotearkkitehtuurin optimointi, jossa

tuotearkkitehtuuri optimoidaan kokonais kustannusten, laadun ja luotettavuuden, valmistettavuuden, huollettavuuden, joustavuuden ja räätälöinnin kannalta.[9]

2.3.2 Laatu

Tuotteen laatuun keskeisesti vaikuttavia seikkoja on kaksi. Ensimmäinen vaihe, missä tuotteen laatuun voidaan vaikuttaa, on tuotteen suunnitteluvaihe, jossa määritetään tuotteen valmistukseen käytettävät menetelmät ja käytännöt. Toinen vaihe on tuotteen valmistus. Molempiin asioihin pyritään kiinnittämään huomiota jo suunnittelun aikana käyttämällä rinnakkaissuunnittelua ja DFM-menetelmiä.

Yleensä tuotteen laatua pidetään pelkästään tuotannon vastuualueena, mutta on esitetty väitteitä, että jopa kolmasosa kaikista laatuvirheistä johtuu tuotteen suunnittelusta[10]. Tuotteen suunnitteluissa määrätään, mitä komponentteja valmistetaan itse ja mitä ostetaan valmiina sekä millaisia komponentteja ostetaan. Tuotesuunnittelu määrittää miten hyvin itse tehtävät komponentit valmistetaan. Lisäksi tuotteen suunnitteluvaiheessa määritetään, miten tuote kokoonpannaan ja miten eri komponentit toimivat keskenään. Tuotteen suunnittelu määrää suurelta osin tuotannossa käytettävien prosessien rakenteen. Tästä syystä tuotteen suunnitteluvaiheessa tuotannon ja suunnittelijoiden tulisi olla tiiviissä yhteistyössä sekä suunnitella tuotantoprosessi ja tuote samanaikaisesti. Kun tuote on suunniteltu edellä mainitulla tavalla on tuotannon vastuulla varmistaa, että kaikki voitava tehdään huippu laadun saavuttamiseksi tuotannossa.

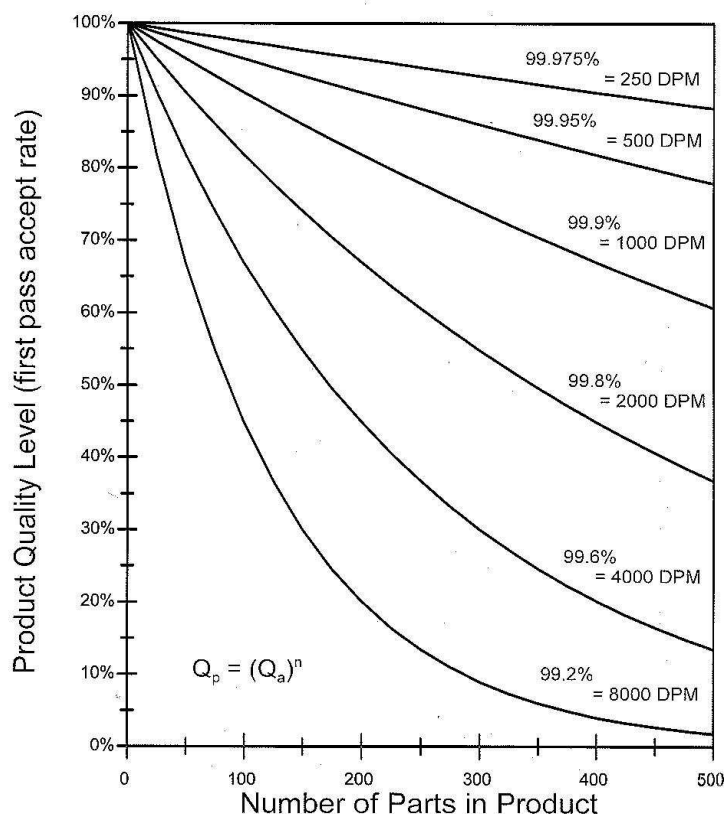
Kun puhutaan laadusta on tärkeää ymmärtää miten yksittäisten komponenttien kumulatiivinen laatu vaikuttaa koko tuotteen laatuun.

$$Q_p = Q_1 * Q_2 * Q_3 Q_n = \prod_{i=1}^n Q_i \quad (1)$$

Kaavassa 1 [10] Q_p on tuotteen laatutaso mitattuna niin, että se kertoo kuinka suuri osa tuotteista toimii normaalisti tai ovat virheettömiä. Q_n kertoo n:nen komponentin laadukkuuden. Malli olettaa, että yksikin viallinen komponentti aiheuttaa koko tuotteen vikaantumisen. Esimerkkinä tästä, lasketaan tuotteen kokonaislaatutaso, kun jokaisen komponentin yksittäinen laatutaso on 99 % ja tuote koostuu 30 osasta.

$$Q_p = (Q_a)^n = (0.99)^{30} = 0.74 \quad (2)$$

Kaavassa 2 Q_a on komponenttien keskimääräinen laatutaso ja n on komponenttien määrä. Tästä nähdään, miten tärkeää on pitää komponenttien laatu korkeana, jotta lopullisen tuotteen laatu olisi hyvä. Esimerkin laatutaso ei vielä ota huomioon tuotannossa tapahtuvia laatuvirheitä vaan se ottaa huomioon pelkästään yksittäisten komponenttien laadun. Kaavasta 2 on piirretty kuvaaja, joka on esitelty kuvassa 4.



Plotted lines are for average part quality levels cited as percent good and DPM (Defects/Million)

Kuva 4. Osien lukumäärä vaikutus tuotteen kokonaislaatuun. X-akselilla tuotteen komponenttien määrä ja y-akselilla tuotteen laatutaso[10].

Kuvassa 4 käyrät kuvaavat aina tiettyä laatutasoa ja ne kertovat miten koko tuotteen laatutason tuotteen komponentti määrän funktiona. Kuvasta nähdään, että komponenttien määrän kasvaessa tuotteen laatu kärsii. Kuvaajassa laatutaso on ilmoitettu viallisten tuotteiden määränä miljoonassa tuotteessa (eng. Defects per million, DPM). 99.95 % laatutasolla tämä tarkoittaisi 500 DPM:ää.

Andersson tarjoaa kolmea ratkaisua tähän ongelmaan [10]. Tuotteen laatutaso voidaan optimoida maksimoimalla komponenttien keskimääräinen laatutaso, minimoimalla tuotteen komponenttien määrää tai kaikkein parhaaseen tulokseen päästään, kun optimoidaan molemmat edellä mainitut.

2.3.3 Tuotteiden räätälöinti

Tehokkain menetelmä tehdä asiakaskohtaisia räätälöityjä tuotteita on massaräätälöinti. Massaräätälöinnillä tarkoitetaan sitä, että tuotteet pystytään mahdollisimman tehokkaasti varioimaan asiakkaan vaatimuksia vastaaviksi. Massaräätälöinti lähtee liikkeelle jo tuotesuunnittelusta, jossa tuotteesta suunnitellaan modulaarinen ja helposti konfiguroitava.[19]

Massaräätälöinti periaatteet on otettava käyttöön tuotteen suunnitteluvaiheessa, jotta niistä saadaan täysi hyöty. Valmistusprosessien täytyy olla joustavia, jotta massaräätälöinnin edut realisoituisivat käytännössä. Joustava tuotanto voidaan toteuttaa lean-tuotantomenetelmillä, joiden avulla tuotantoprosessit voivat vastata suoraan asiakaskysyntään rakentamalla kaikki tuotteen yhdenkappaleen eräkoossa, mahdollisimman tehokkaasti.

2.3.4 Kustannukset

Kuvan 2 mukaan tuotantovaiheessa voidaan enää vaikuttaa 10 % tuotteen kustannuksista. Mikäli tuotteen kustannuksia halutaan pienentää järjestelmällisesti tulee tämä seikka huomioida jo konseptikehitysvaiheessa. Mikäli kustannuksia lähdetään leikkaamaan vasta tuotekehitysprojektin loppuvaiheessa, joudutaan tekemään valintoja, joiden seurauksena kaikkia asiakastarpeita ei pystytä täyttämään.[10]

2.4 Kokoonpantavuus

Kokoonpano on valmistusvaihe, jossa yhdistetään useita erilaisia komponentteja kokonaiseksi tuotteeksi. Kokoonpantavuus (eng. Design For Assembly, DFA) on menetelmä, jolla pyritään minimoimaan tuotteen kustannuksia ja kokoonpanoaikaa. DFA:n avulla kokoonpantavuus otetaan huomioon jo suunnitteluprosessin alkuvaiheessa. Kustannuksia ja kokoonpanoaikaa lyhennetään yksinkertaistamalla tuotetta ja sen valmistusprosessia.

Boothroydin mukaan DFA koostuu kahdesta vaiheesta[11]. Ensimmäinen vaihe on erillisten komponenttien määrän minimointi. Toinen vaihe on jäljelle jäävien osien kokoonpantavuuden parantaminen. Menetelmän ensimmäinen vaiheessa on kolme tärkeää kysymystä, jotka tulee kysyä aina, kun kokoonpanoon lisätään uusia osia. Nämä kysymykset ovat:

- 1) Liikkuuko kyseinen osa muihin jo kokoonpantuihin osiin nähden laitteen toiminnan aikana?
- 2) Täytyykö osan välttämättä olla eri materiaalia kuin muut jo kokoonpanossa olevat osat?
- 3) Täytyykö osan olla erillään muista jo kokoonpannuista osista, jotta muut osa olisi mahdollista asentaa paikoilleen tai purkaa pois?

Komponentti lisätään kokoonpanoon vain, jos se täyttää jonkin edellä mainituista ehdoista. Näiden kolmen kysymyksen kysyminen jokaisen tuotteen komponentin kohdalla mahdollistaa komponenttien määrän merkittävän vähentämisen ja tuotteen rakenteen yksinkertaistamisen.

Paras hyöty DFA-menetelmistä saadaan kun niitä käytetään mahdollisimman aikaisessa vaiheessa tuotekehitysprojektia. DFA:n etuna on se, että sen on osoitettu johtavan säästöihin kokoonpanokustannuksissa, mutta vielä suurempia säästöjä on saavutettu komponentti kustannuksissa[11]. DFA menetelmillä on ollut myös komponenttimäärän pienemisen seurauksena vaikutuksia varastoarvon pienemiseen ja tuotteiden

virtauksen paranemiseen tuotannossa. Yksinkertaiset ja nopeat kokoonpanovaiheet maksimoivat arvoa tuottavan työn määrää tuotantolinjalla.

DFA-ohjeistus voidaan viedä hyvinkin yksityiskohtaiselle tasolle, mutta yleisellä tasolla pyritään toteuttamaan seuraavia periaatteita:

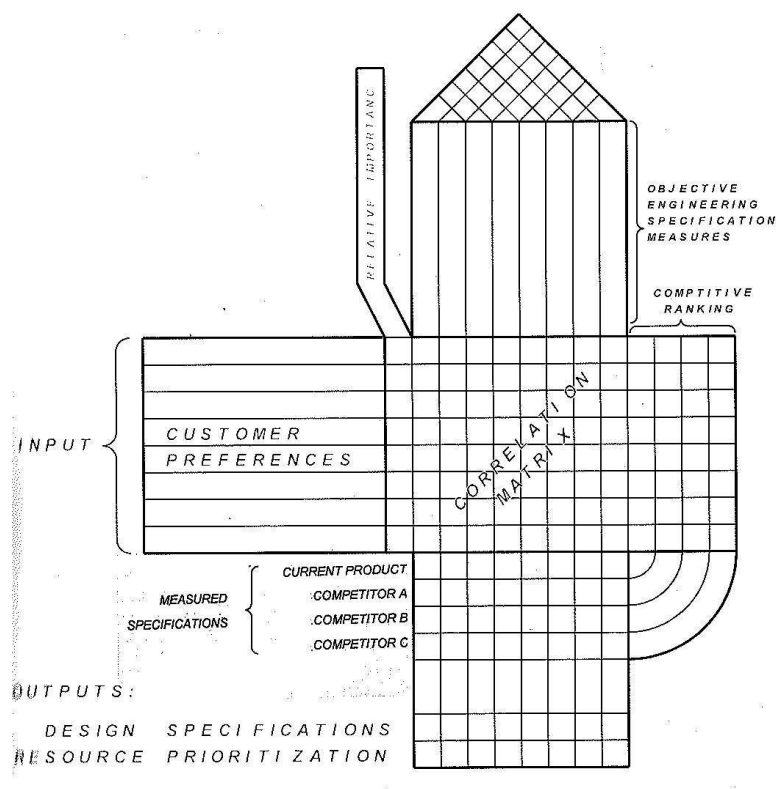
- 1) **Pyritään yksinkertaisuuteen.** Yksinkertaistamisen tavoitteena on minimoida yksittäisten ja erilaisten komponenttien määrä. Lisäksi pyritään yksinkertaistamaan kokoonpanovaiheita ja komponenttien käsittelyä.[12]
- 2) **Standardointi.** Standardoinnilla varmistetaan, että kaikissa tuotteissa käytettäisiin aina, kun se on mahdollista samoja materiaaleja ja komponentteja. Standardoinnin yksi keskeinen periaate on, että komponentteja jotka voidaan ostaa ei missään tapauksessa suunnitella itse, tätä periaatetta kutsutaan Anderssonin laiksi. Tällä pyritään siihen, että ei suunnitella yksinkertaisia osia aina uudestaan vaan käytetään valmiita aina silloin, kun se on mahdollista, jotta voidaan keskittyä oikeasti hankaliin suunnittelukohtiin. Lisäksi valmiit laajassa käytössä olevat komponentit ovat todennäköisesti huomattavasti luotettavampia ja halvempia kuin pikaisesti itse suunnitellut komponentit.[8]
- 3) **Tuoterakenteen järjeistäminen.** Tuoteperheiden sisällä käytetään standardoituja komponentteja ja tuotteet on suunniteltu modulaarisiksi, jolloin tuotteiden varioituvuus tapahtuu niin myöhäisessä vaiheessa kuin mahdollista, joka helpottaa niiden valmistamista lean-tuotannossa.[12]
- 4) **Käytä mahdollisimman suuria toleransseja.** Tuotesuunnittelussa tulee valita jokaiselle komponentille suurimmat mahdolliset toleranssit, kuitenkin niin, että laitteen toiminnallisuus, laatu ja luotettavuus ei vaarannu. Kaikkein vaarallisimpia ovat tarpeettoman tiukat ja satunnaisesti määritetyt toleranssit.[10]
- 5) **Valitse materiaalit sopiviksi toiminnallisuuden ja valmistettavuuden kannalta.** Tuotteen materiaaleja ei kannata valita pelkästään tuotteen tuominnallisuuden kannalta, vaan täytyy ottaa huomioon myös se että käytettävät materiaalit soveltuvat käytettävään tuotantoprosessiin.
- 6) **Minimoi kaikki ei arvoa tuottavat toiminnot.** Hukka täytyy poistaa valmistusprosessista jo tuotteen suunnitteluvaiheessa, jotta voidaan optimoida virtaus tuotannossa.[12]
- 7) **Suunnittele tuotteet prosessia varten.** Valmistusprosessin ominaisuuksia kannattaa käyttää hyväksi tuotesuunnittelussa, mikäli se on mahdollista. Toisaalta valmistusprosessin heikkoudet tulee myös huomioda tuotesuunnittelussa, näitä ovat esimerkiksi hankalat kohdistukset, joiden avuksi tarvitaan ohjureita.[12]

DFA:n käytännön toteutuksessa käytetään apuna hyvin yleisesti suunnitteluperiaatteita ja -sääntöjä, jotka on kerätty DFA-ohjesäännöksi tai tarkastuslistaksi. DFA:n arvioimiseen käytetään myös kvantitatiivisia menetelmiä, joissa tuotteen jokainen kokoonpanovaihe pisteytetään erikseen ja lopuksi lasketaan koko tuotteelle kokoonpantavuuspisteet. Suuri osa DFA tietoudesta on yksittäisten ihmisten kokemuseräisesti hankimaa tietoa. Nykyään on saatavilla suunnitteluohjelmistoja, joihin on integroitu DFA-ominaisuuksia, joiden avulla tuotteen suunnittelija voi suunnitella tuotteen tai komponentin ja saman aikaisesti testata tuotteen kokoonpantavuutta.

2.5 Työkalut

2.5.1 Asiakaskeskeinen suunnittelu

Asiakaskeskeinen suunnittelu (eng. Quality Function Deployment, QFD) on menetelmä, jonka avulla tuotekehityksessä voidaan asiakastarpeet muuntaa tuotteen ominaisuuksiksi ja niihin soveltuviksi testimenetelmiksi. QFD:tä käytetään tuotteen määrittelyyn ja sen tuloksena saadaan laadun talo (eng. House of quality), joka kokoaa yhteen kaikki QFD-menetelmän vaiheet. QFD-menetelmän tuloksena saadaan spesifikaatiot uudelle tuotteelle ja resurssien priorisointiarvo. Laadun talo kuvassa 5.



Kuva 5. Laadun talo [10]

Laaduntalo koostuu seuraavista osa alueista asiakastarpeista, asiakastarpeiden prioriteeteista, objektiivisista ja mitattavista tuoteominaisuuksista, asiakastarpeiden ja tuoteominaisuuksien riippuvuuksista, korrelaatiomatriisista, kilpailija-analyysista, kilpailija-analyysin tuloksista, tuoteominaisuuksien ja resurssien priorisoinnista.

QFD:n tuloksena saatavat tuotespesifikaatiot ovat ominaisuuksia, jotka ovat mitattavissa. Yleensä ominaisuudet on pystyttävä mittaamaan niin, että niille saadaan jokin lukuarvo, jota verrataan spesifikaationa saatuun arvoon.[10]

Resurssien priorisointiarvo ilmoittaa kuinka suuri prosenttiosuus käytettävissä olevasta ajastaan tuotekehitysprojektin tulisi käyttää tiettyyn ominaisuuteen ja arvo muodostetaan asiakkaan antamien asiakastarpeiden tärkeysjärjestyksestä. Tällä varmistetaan, että tuotekehitysprojekti allokoii omat resurssinsa oikein asiakkaan

tarpeiden mukaan, eikä keskity kehittämään ominaisuuksia, jotka ovat asiakkaan kannalta toissijaisia.[6]

QDF:n käyttö aloitetaan keräämällä asiakastarpeita asiakkailta itseltään. Lisäksi asiakkaat arvottavat asiakastarpeet. Seuraavaksi pyydetään asiakkaita arvioimaan omaa tuotetta ja kilpailevia tuotteita, tunnistettujen asiakastarpeiden näkökulmasta. Asiakkaat pisteyttävät oman tuotteen ja kilpailevat tuotteet sen mukaan miten hyvin ne täyttävät tunnistetut asiakastarpeet.[6]

Asiakastarpeet voidaan selvittää arvioimalla ne itse, mutta itsearvioinnissa on aina ongelmana se, että ne eivät välttämättä vastaa todellista asiakastarvetta. Kun nämä esitiedot on hankittu, voidaan aloittaa laadun talon muodostaminen.

QFD:n käyttämisellä saadaan asiakkaan tarpeet muutettua konkreettisiksi suureiksi, joita voidaan mitata. Tämä on hyödyllinen työkalu DFA:n kannalta, sillä tällöin tuoterakenteen yksinkertaistaminen ja komponenttien määrän minimoiminen voidaan tehdä niin, että ei karsita pois mitään sellaista, joka on tärkeä ominaisuus asiakkaalle. Lisäksi QFD-menetelmässä määritetään tuotespesifikaatiolle resurssiprioriteettiarvo, jonka avulla voidaan varmistaa, että tuotekehitysprojektissa kiinnitetään huomiota oikeisiin asioihin.

2.5.2 Vika- ja vaikutusanalyysi

Vika- ja vaikutusanalyysi (eng. Failure Mode and Effect Analysis, FMEA) on menetelmä, jolla pyritään selvittämään tuotteen tai prosessin luotettavuutta. FMEA on alunperin lentotekniikkateollisuudessa käytössä ollut menetelmä.[13]

Nimensä mukaisesti siinä pyritään tunnistamaan virhetilanteita, joissa tuote ei vastaa asiakkaan odotuksia, ja näiden virheiden vaikutuksia. Useimmiten FMEA-analyysi tehdään loppukäyttäjän näkökulmasta. FMEA voidaan jakaa kahteen Suunnittelu FMEA (eng. Design Failure Mode and Effect Analysis, DFMEA) ja prosessi FMEA (eng. Process Failure Mode and Effect Analysis, PFMEA). DFMEA:lla etsitään tuotteen suunnittelusta aiheutuvia vikoja ja niiden vaikutuksia. Lisäksi sitä voidaan käyttää suunnittelun laadun valvontaan. PFMEA:llä saadaan selvitettyä, mitä virheitä valmistusprosessissa esiintyy ja mitkä niiden vaikutukset ovat tuotteeseen. Tämän lisäksi PFMEA antaa tietoa siitä, mitä toimenpiteitä tuotannossa täytyisi tehdä, jotta virheiden esiintyminen voidaan estää.[13]

FMEA-analyysissä lasketaan jokaiselle vian mahdolliselle alkusyyllle riskin suuruutta kuvaava arvo (eng. Risk Priority Number, RPN). RPN-luku lasketaan kaavan 3 mukaan [13].

$$RPN = \text{Vikatiheys} \times \text{Vakavuusaste} \times \text{Löydettävyyys} \quad (3)$$

Vikatiheys on ilmoitettava aina tietyn suuruudessa otannassa ja samaa yhtenäistä tapaa on käytettävä aina muuten RPN-luvut eivät ole vertailukelpoisia keskenään. Yleensä tulokset kerätään taulukkoon. Taulukosta nähdään helposti mihin ongelmiin tulee puuttua ensin, jotta niiden vaikutus tuotteen laatuun on mahdollisimman suuri.

2.5.3 DFA-suunnittelusuositukset

Kun yrityksissä päätetään ruveta käyttämään DFA-menetelmiä, päädytään usein siihen tilanteeseen, että ei ole olemassa mitään virallista ohjeistusta miten asiassa tulisi edetä. DFA:n toteutuminen nojaa suunnittelijoiden tietotaitoon ja yrityksessä kerättyyn kokemukseen siitä, miten asiat tulisi tehdä. Tämä lähestymistapa ei ole mitenkään johdonmukainen ja sen seurauksena DFA:ta toteutetaan joka kerralla eri tavalla ja aina kulloisenkin suunnittelijan omien mieltymysten ja painotusten mukaisesti.

Suunnittelusuositukset (eng. design guidelines) ovat pääasiallinen tapa välittää tietoa parhaista mahdollisista suunnitteluun liittyvistä suunnittelukäytännöistä DFA:ssa[14]. Suunnittelusuosituksia kerätään pääasiassa kirjallisuudesta [12][14][15][16], suunnittelukokemuksen kautta saadusta tiedosta ja sisäisten asiakkaiden kokemuksesta. Erityisesti tuotannon rooli DFA-suunnittelusuositusten keräämisessä on tärkeää, sillä tuotannossa saattaa olla hyvinkin tarkka näkemys siitä, mitkä ratkaisut toimivat ja mitkä eivät. Kokemuseräisten ja sisäisten asiakkaiden suunnittelusuositusten keräämisessä on omat haasteensa verrattuna kirjallisuudesta saataviin suosituksiin[14].

Suunnittelusuosituksia kerätään yleensä niissä tapauksissa, jossa useita etenemisvaihtoehtoja, mutta kokemuseräisesti on havaittu tietyn toimintatavan toimivan. Suosituksia on olemassa jokaiselle tuotesuunnittelun vaiheelle, mutta niitä on selkeästi enemmän tuotesuunnitteluvaiheeseen. Silloin on olemassa riittävästi tietoa itse tuotteesta, jotta suosituksia voidaan soveltaa. Suuri osa suunnittelusuosituksista käsittelee hyvin yksityiskohtaisia aspekteja tuotteen rakenteesta.

Kokoonpano on työvaihe, jossa komponentit on haettava varastosta, tuotava työpisteeseen, käännettävä ne niin että osat voidaan lopulta yhdistää lopulliseksi tuotteeksi. Jokaiselle tavarahanalle, käsittelylle ja yhdistämiselle voidaan laskea siihen kuluva aika ja kustannus. Näihin kokoonpanokustannuksiin voidaan vaikuttaa kaikkein tehokkaimmin jo suunnitteluvaiheessa. Käyttämällä hyväksi DFA-suunnittelusuosituksia voidaan kokoonpanokustannusta pienentää ja lisäksi DFA-käytännöt pysyvät yhteisen suosituksen ansiosta yhtenäisenä koko yrityksen tasolla.[14]

2.5.4 Standardointi

Standardointi DFA:n yhteydessä tarkoittaa sitä, että pyritään käyttämään mahdollisimman paljon samoja komponentteja ja materiaaleja kuin yrityksen muissa tuotteissa. Tämä estää sen, että joka tuotteeseen valitaan erilaiset kiinnitysruuvit, tiivistemateriaalit tai pakkausmateriaalit. Kun yrityksessä on tehty osalistoja ja selvitetty kuinka paljon erilaisia osia menee eri tuotteisiin, on havaittu kuinka paljon erilaisia kiinnitystarvikkeita yrityksen eri tuotteissa käytetään. Tämä aiheuttaa sen, että joudutaan pitämään suuria varastoja erilaisia komponentteja, jotka vievät tilaa ja sitovat pääomaa. Toiseksi mikäli tuotannossa joudutaan käyttämään suurta määrää hyvin erilaisia komponentteja on komponenttien sekaantumisen riski hyvin suuri. Lisäksi erilaiset komponentit voi vaatia erikoistyökaluja, joita täytyy olla joka paikassa missä kyseistä komponenttia käytetään.

Osien ja materiaalien standardoinnilla saavutetaan säästöjä varastointi kustannuksissa ja helpotetaan oston toimintaan, koska sen ei tarvitse tilata tuhansia erilaisia komponentteja, vaan voidaan tilata suuria määriä samanlaisia komponentteja. Tällä

saavutetaan se etu, että voidaan käyttää parempia komponentteja vaikka ne ovat kalliimpia, koska standardoinnin seurauksena näitä parempia komponentteja käytetään useammassa tuotteessa ja niitä tilataan suurempia määriä, jolloin komponenttien yksikkökustannus yleensä putoaa.[17]

Anderssonin laki

Kun kaikki mahdolliset komponentit suunnitteluvaiheessa valitaan katalogista, standardoituu yrityksen komponenttista vähitellen automaattisesti. Tämä johtuu siitä, että katalogeissa olevat komponentit ovat yleensä niin laajassa käytössä, että ne jo sinänsä ovat standardeja[17].

Toisaalta, kun käytetään jonkun toimittajan valmiita komponentteja jo tuotteen suunnitteluvaiheessa, täytyy suunnittelijan suunnitella tuote näille standardi komponenteille sopivaksi. Jos tuotetta ei suunnitella niin, että valmiina hyllytavarana ostettavat komponentit ei siihen sovi, on tehty sattumanvaraisia suunnittelupäätöksiä, joiden seurauksena tuotteen rakenteesta tulee tarpeettoman monimutkainen. Valmiiden hyllytavarana saatavien komponenttien käyttö suunnittelussa yksinkertaistaa tuotteen rakennetta ja lyhentää sen suunnitteluun kuluvaa aikaa[17].

2.5.5 Kokoonpantavuuden arviointi työkalut

DFA:n arvioimiseen on pyritty kehittämään kvantitatiivisia menetelmiä, joiden avulla olisi mahdollista arvioida tuotteen kokoonpantavuutta jo sen suunnitteluvaiheessa. Nämä menetelmät perustuvat arviointiin erilaisten tietokantojen avulla. Tietokantoihin on kerätty tutkimusten ja kokemuksen avulla kerättyä informaatiota eri kokoonpanovaiheiden ominaisuuksista. Kaikki menetelmät laskevat arviointien ja tietokantojen avulla tuotteelle numeerisen arvon, joka kertoo tuotteen kokoonpantavuuden hyvydestä. Tunnetuimpia kokoonpantavuuden arviointimenetelmiä ovat Hitachi Assembly Evaluation Method, Lucas DFA method ja Boothroyd-Dewhurst DFA.[18]

Hitachin kokoonpantavuuden arviointimenetelmä

Hitachin kokoonpantavuuden arviointimenetelmä (eng. Hitachi Assembly Evaluation Method, AEM) arvioi tuotteen kokoonpantavuutta kahden peruskriteerin perusteella. AEM-menetelmässä tuotteelle lasketaan kokoonpantavuuden hyvyttä ilmoittava luku E. E-luvun avulla arvioidaan tuotteen suunnittelun tasoa kokoonpantavuuden helppouden näkökulmasta. Toinen arviointikriteeri on kokoonpanon arvioidut kustannukset ilmoittava luku K. K-luvun avulla arvioidaan kokoonpantavuuden kustannusvaikutuksia.[18]

AEM arvioi kokoonpantavuutta siten, että se tarkastelee kokoonpanovaiheita, jotka on jaettu asetusvaiheeseen ja kiinnittämisvaiheeseen, eli jokaiselle komponentille tehdään nämä kaksi vaihetta. Jokaiselle kokoonpanovaiheelle annetaan virhepisteitä. Virhepisteet määritetään Hitachin kokoonpantavuusinformaatiota sisältävän tietokannan avulla. AEM menetelmässä kaikkein paras kokoonpanon työvaihe on yksinkertainen liike alaspäin, tälle liikkeelle virhepisteet ovat nolla. Jokaiselle tuotteen komponentille lasketaan vastaavalla tavalla E-luku. Yksittäisten komponenttien E-luvuista lasketaan keskiarvo, josta saadaan E-luku koko tuotteelle.[18]

E-luku ei sinänsä kerro komponenttien määrän vähentämisestä saaduista eduista kokoonpantavuuden kannalta. Tätä arvioidaan K-luvun avulla. K-luvun arvoa voidaan pitää uuden tuotteen kokoonpanokustannusten suhteena vanhan tuotteen kokoonpanokustannusten suhteen. K-luku saadaan jakamalla uuden tuotteen kokoonpanokustannukset vanhan tuotteen kokoonpanokustannuksilla. Kokoonpanokustannukset määritetään historiatiedon perusteella ja antamalla kokoonpanon perusliikkeelle kustannus sen keston perusteella. K-luvun arvo riippuu aiemmin lasketusta E-luvusta. AEM-menetelmässä suunnittelijan tavoitteena on saada K-luku pienemmäksi kuin 0.7. Nämä tavoitteet saavutetaan vähentämällä komponenttien määrää ja helpottamalla kokoonpanovaiheita.[18]

Boothroyd-Dewhurstin valmistettavuuden ja kokoonpantavuuden suunnittelu

Boothroyd-Dewhurstin valmistettavuuden ja kokoonpantavuuden suunnittelu (eng. Boothroyd-Dewhurst Design For Manufacturing and Assembly, BD DFMA) menetelmä aloitetaan siitä, että valitaan tullaanko tuote valmistamaan manuaalisesti, automaatiota apuna käyttäen vai robottien avulla. BD DFMA:n seuraavassa vaiheessa pyritään vähentämään tuotteen komponenttien määrää. Tämä toteutetaan tarkastelemalla jokaista komponenttia erikseen ja arvioimalla onko komponentti tuotteen keskeinen komponentti vai erillinen. Mikäli havaitaan, että komponentti ei ole kriittinen komponentti tulee se pyrkiä poistamaan tuotteesta. Komponentti ei ole kriittinen tuotteelle, mikäli se ei täytä yhtäkään edellä 2.4 kohdassa määritetyistä kolmesta periaatteesta ja sille merkitään BD DFMA:n teoreettiseksi minimikomponentti arvoksi 0. BD DFMA:ssa kaikki arviointi keskittyy komponenttien käsittelyn ja paikoilleen laittamisen aiheuttamien kustannusten arviointiin. BD DFMA:ssa määritetään tuotteen kokonaiskokoonpanokustannukset ja tuotteen uudelleen suunnittelulla pyritään minimoimaan tätä arvoa. BD DFMA:n avain on se, että se ensin pakottaa arvioimaan yksittäiset käsittely- ja asetusvaiheet. Toiseksi se käyttää myös kokoonpantavuustietokantaa apuna.[18]

Lucas DFA menetelmä

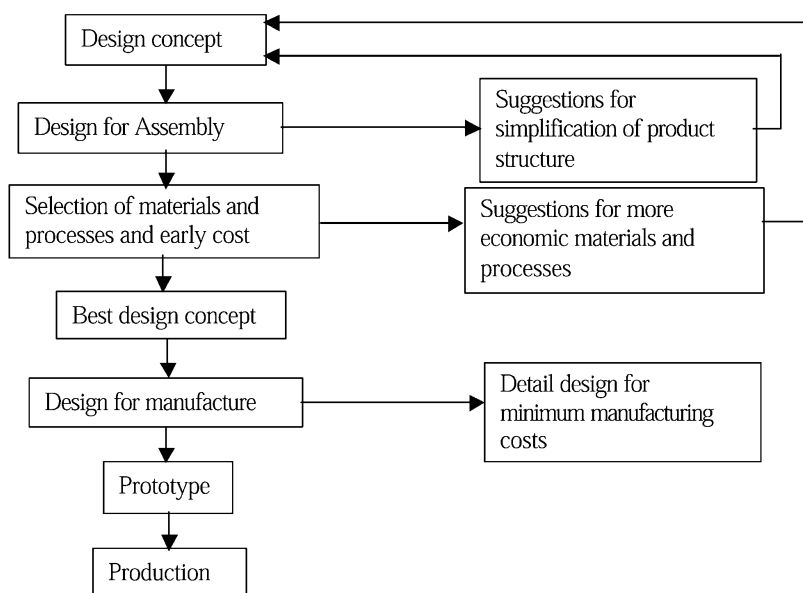
Lucas-menetelmä kokoonpantavuuden arviointiin perustuu kokoonpanovaihevuokaavioon, joka muodostetaan analyysiä tehtäessä. Menetelmässä annetaan virhepisteitä mahdollisille suunnitteluongelmille. Tuotteelle lasketaan virhepisteet ja ne jaetaan kolmeen kategoriaan; suunnittelun tehokkuus, syöttösuhdeluku ja asetussuhdeluku. Lucas-menetelmä eroaa edellä mainituista menetelmistä, siinä DFA-arviointi ei perustu rahallisiin kustannuksiin. Lucas-menetelmällä on mahdollista analysoida erikseen manuaalista ja automaattista kokoonpanoa, mutta se ei erottele automaattisia kokoonpanomenetelmiä mitenkään. Analyysi suoritetaan komponenttikerrallaan ja siinä päätellään onko osa tarpeellinen kokoonpanossa vai ei. Komponenttien tarpeellisuutta tuotteessa arvioidaan samoin periaattein kuin BD DFMA:ssa, mutta Lucas-menetelmä ottaa edellä mainittujen seikkojen lisäksi huomioon komponenttien tarpeellisuus arvioinnissa huomioon tuotespesifikaatiot.[18]

Tietokoneavusteiseen suunnittelun apuna käytettävät työkalut

Hitachi AEM ja Lucas menetelmät alunperin perustuivat käsin täytettävään kaavakkeeseen, johon lisättiin tietokannoista tarvittavat kokoonpanotiedot. BD DFMA kehitettiin jo alunperin tietokoneella käytettäväksi, mutta siitä on olemassa käsikirja, jonka avulla se on mahdollista toteuttaa käsin. Nykyään kaikki kolme kokoonpantavuuden arviointimenetelmää on saatavilla tietokoneversiona. Tietokoneella tapahtuva kokoonpantavuuden arviointi on siinä mielessä tehokkaampaa, että Ohjelmaan on mahdollista ladata 3D-mallit ja niitä voidaan analysoida suoraan

ohjelmallisesti suunnittelutyön ohessa. Toisaalta tietokoneversion haittana voi pitää sitä, että se ei suoranaisesti käsittele todellisia kappaleita eikä ole siten yhtä informatiivista kuin koekappaleiden kanssa suoritettava koekokoonpano. Fyysisillä kappaleilla tehtävät koekokoonpanot mahdollistavat kokoonpanijoiden mielipiteen kysymisen siinä vaiheessa, kun prototyyppejä eri komponenteista on jo saatavilla. Tietokoneohjelmilla voidaan tehdä analyysyjä jo paljon aikaisemmassa vaiheessa, kun suunnitelmista on olemassa vasta virtuaalimallit. Lisäksi tietokoneohjelmat tekevät analyysien laskemisesta ja tietokantojen käytöstä huomattavasti yksinkertaisempaa. Ohjeistuksen tekeminen ja suunnittelusuositusten antaminen käyttäjälle on myös helpompaa ohjelmallisesti. Analyysien dokumentointi on helpompaa tehdä, koska ohjelma voi käyttää valmiita raporttipohjia joihin se tallentaa analyysien tulokset.[18]

2.6 DFMA-prosessin yleinen rakenne



Kuva 6. Boothroyd-Dewhurstin DFMA-prosessin kaaviokuva [14].

Boothroyd-Dewhurst kuvasivat DFM:n ja DFA:n toteutustavan kuvan 6 mukaisesti. Heidän näkemyksen mukaan tuote olisi paras mahdollinen tuotannon kannalta, kun DFM:n ja DFA:n yhdistää. DFM ja DFA yhdistämällä varmistetaan, että tuotesuunnittelussa otetaan huomioon kaikki tuotantoa koskevat seikat. He nimesivät tämän menetelmän DFMA:si. Boothroydin ja Dewhurstin lähestymistapa DFMA:n on kustannuslähtöinen ja sen takia tuotteen ja valmistuksen optimointi suoritetaan kustannusten karsimisen näkökulmasta.

DFMA-prosessi alkaa DFA:lla ja siinä varmistetaan, että suunniteltava tuote on kokoonpantavuuden kannalta paras mahdollinen. Tässä vaiheessa varmistetaan, että tuotteen rakenne on yksinkertaisin mahdollinen, materiaalit on valittu järkevästi ja käytetään parhaita mahdollisia prosesseja tuotteen kokoonpanemiseen. Kun paras mahdollinen tuoterakenne on löydetty, jatketaan DFM-vaiheeseen jossa suunnitellaan tuotteen jokainen komponentti tarkasti. Tärkeintä DFM-vaiheessa on varmistaa, että jokainen komponentti suunnitellaan niin, että sen valmistuskustannukset pysyvät minimissä. [14]

3 Lean-ajattelu

3.1 Lean-tuotannon historiallinen tausta

Vuonna 1990, kun James P Womak, Daniel T Jones ja Daniel Roos julkaisi kirjan "The machine that changed the world"[3 s.13], länsimaaisissa ymmärrettiin, että sillä hetkellä käytössä olevat massatuotantomenetelmät eivät olleet parhaita mahdollisia. Jo ennen kirjan julkaisua teollistuneissa länsimaissa yllätettiin siitä, miten kilpailukykyisiä japanilaiset autonvalmistajat olivat.

Tuontiautojen osuus yhdysvaltojen automarkkinoista alkoi nousta 70-luvun lopulla ja 80-luvun alussa tuontiautoilla oli jo neljäsosa yhdysvaltojen automarkkinoista[20]. Japanilaisten autojen menestyksen takana oli tehokkaampi tuotantoprosessi. Vuosikymmenen puolessa välissä perustettiin International Motor Vehicle Program - tutkimusohjelma tekemään kattava selvitys autonvalmistajien tehokkuudesta ympäri maailmaa. Tämän tutkimusohjelman loppuraportin tietojen perusteella kirjoitettiin Machine-kirja[3 s.13], joka ilmestyessään paljasti japanilaisten autonvalmistajien todellisen etumatkan eurooppalaisiin ja amerikkalaisiin verrattuna. Kirja paljasti myös sen tosiasian, että länsimaiset autonvalmistajat käyttivät tuotannossaan edelleen Henry Fordin jo vuonna 1913 [3 s. 28] kehittämää massatuotantomenetelmiä.

Massatuotannossa tuotetaan mahdollisimman suuria määriä tiettyä tuotetta kerralla. Tämän seurauksena kaikki tuotantolaitteet on suunniteltu tekemään suuria eriä tiettyä komponenttia kerralla. Massatuotannon kantava ajatus on se, että tehdään mahdollisimman paljon samaan komponenttia joka tuotantovaiheessa, jotta tuotantolaitteet käyvät koko ajan. Tuotannon eräkokoja pyritään jatkuvasti kasvattamaan, jotta laitteita joudutaan säätämään mahdollisimman vähän siinä vaiheessa, kun valmistettava tuote vaihtuu. Äärimmilleen vietynä tämä lähestymistapa johtaa siihen, että jokaisella tuotteella täytyy joka työvaiheessa olla oma tuotekohtainen tuotantolaitte[3 s. 37].

Vaikka tieto länsimaihin japanilaisten tehokkaista tuotantomenetelmistä levisi vasta 80- ja 90-luvulla, oli japanilaiset kehittäneet omia tuotantomenetelmiään jo huomattavasti aiemmin. Toyota on aloittanut oman tuotantomenetelmiensä kehittämisen 1930-luvulla[21]. Toisen maailmansodan jälkeen Toyota kohtasi aivan uudenlaisia tuotannollisia haasteita ja nämä haasteet vaikuttivat olennaisesti siihen miten Toyota lähti kehittämään omaa toimintaansa omissa tuotantolaitoksissaan[3 s. 48].

Näitä haasteita oli muun muassa se, että Japanin sisämarkkinat olivat pienet ja niillä myytiin paljon erityyppisiä autoja. Lisäksi toisen maailmansodan jälkeen Japanin työläinsäädäntö muuttui niin, että ammattiliitoista tuli merkittävästi vaikutusvaltaisempia. Toyota työllisti työntekijänsä kokoelämän ajaksi. Japanissa ei myöskään ollut vierastyövoimaa. Toisen maailmansodan jälkeen Japanin taloudellinen tilanne oli heikko, eikä Japanilaisilla yhtiöillä tai valtiolla ollut varaa ostaa suuria ja kalliita länsimaisia tuotantolaitteita, joita käytettiin laajasti massatuotannossa. Kaiken tämän lisäksi maailman automarkkinoita hallitsivat suuret autonvalmistajat, jotka olivat

valmiita puolustamaan markkinaosuuttaan ja valmiit perustamaan tehtaita Japaniin.[3 s. 48]

Kaikkien edellä mainittujen seikkojen seurauksena Toyota valitsi toisin. Toisaalta Toyota käytti myös hyväksi monia massatuotannon menetelmiä, mutta muutti niitä paremmin omiin tarkoituksiinsa sopivimmiksi. Toyotan tuotantomenetelmien kantavaksi ajatukseksi muodostui hukan (jpn. mudan) poistaminen tuotantoprosessista. Hukaksi määriteltiin kaikki sellainen toiminta, joka sitoo resursseja, mutta ei lisää prosessissa syntyvää arvoa[22].

Toyotan tuotantomenetelmästä kirjoitettiin ensimmäinen tieteellinen artikkeli vasta vuonna 1977[20]. Tutkimus oli tehty Japanissa ja tässä yhteydessä Toyotan tuotantomenetelmästä käytettiin nimitystä Juuri oikeaan aikaan (eng. Just in Time, JIT) - valmistus. Tässä vaiheessa länsimaissa tiedettiin Toyotan menetelmistä hyvin vähän ja JIT kokeilut jäivät länsimaissa hyvin vähäisiksi. Toyotan menetelmät lähinnä herättivät kiinnostusta tutkimuskohteena. Womac, Jones ja Roos kirja "The Machine that changed the world" nimesi Toyotan tuotantomenetelmän uudestaan lean-tuotannoksi. Nimi juontaa juurensa Toyotan järjestelmälliseen pyrkimykseen poistaa tuotantoprosessista kaikki ylimääräinen, jonka seurauksena prosessista tulee hoikka/solakka (eng. lean).

90-luvun alun jälkeen lean-tuotantomenetelmät ovat herättäneet suurta kiinnostusta. Monet yritykset ovat tämän jälkeen lähteneet kehittämään omaa toimintaansa lean-menetelmin. Tämän seurauksena 90-luvulla ilmestyneessä lean-tuotantoa käsittelevässä kirjallisuudessa käsiteltiin lähinnä sitä, miten massatuotantotehtaita voidaan muuttaa soveltamaan lean-tuotannon menetelmiä. Lisäksi tähän aikaan lean-tuotannon menetelmiä ryhdyttiin soveltamaan autoteollisuuden ulkopuolella.

2000-luvulla lean-tuotantomenetelmiä on pyritty soveltamaan jo lähes kaiken tyyppisissä valmistusprosesseissa aina leipomoista sota-alusten rakentamiseen. Lisäksi lean-menetelmien soveltamista erilaisiin palveluprosesseihin on kokeiltu aina tuotekehityksestä sairaaloiden toimintaan. Nopeasti havaittiin, että kun Toyotalta kopioituja lean-työkaluja yritettiin suoraan soveltaa tehdastuotannon ulkopuolelle, tulokset eivät olleet parhaita mahdollisia. Tämän seurauksena lean-kirjallisuudessa 2000-luvulla on käsitelty laajasti sitä, että lean-tuotannon menetelmiä ei voi kopioida erillisinä työkaluina, vaan ne muodostavat kokonaisuuden[22]. Lisäksi pelkkä työkalujen muodostaman kokonaisuuden kopioiminen ei riitä, koska lean-menetelmien uudet sovelluskohteet poikkeavat suuresti tehdastuotannosta. Menetelmien soveltamiseen tarvitaan syvälinen ymmärrys millaisiin tilanteisiin menetelmät on kehitetty ja mikä on niiden taustalla oleva ajatus[24]. Yksi keskeinen syy miksi lean-menetelmien implementointi ei ole onnistunut odotusten mukaisesti on ollut se, että on yritetty kopioida Toyotan työkalut, mutta ei ole otettu huomioon sitä, että lean-tuotanto vaatii myös sen, että koko organisaatio on mukana muutoksessa ja halukkaita oppimaan. Vain tällöin koko organisaatio oppii jotakin uutta ja vain tällöin saadaan aikaiseksi räätälöity ratkaisu lean-menetelmistä, joka toimii tarkoituksen mukaisesti.[23]

3.2 Mitä lean on

Lean on ajattelumalli, jossa keskitytään arvon tuottamiseen asiakkaalle mahdollisimman vähillä resursseilla. Eli pyritään tuottamaan asiakkaan tarvitsemaan tuotetta, oli se sitten

tavara tai palvelu, käyttämällä vain välttämättömiä resursseja arvon tuottamiseksi aina vain tehokkaammin. [3 s.13]

Tämä tavoite pyritään saavuttamaan keskittymällä niihin osa-alueisiin, jotka oikeasti tuottavat arvoa tuotteeseen asiakkaan näkökulmasta ja samalla pyritään poistamaan kaikki muu ylimääräinen.

Lean-tuotantomenetelmän ja massatuotannon keskeisenä erona on se, että massatuotannossa pyritään maksimoimaan kalliiden tuotantolaitteiden tehokkuutta suurentamalla tuotannon eräkokoa ja pitämällä koneet käynnissä, vaikka seuraava prosessivaihe ei pysty ottamaan vastaan tuotteita. Ongelman vaikutuksia pyritään minimoimaan asettamalla prosessivaiheiden välille puskureita, jolloin pienet häiriöt osassa tuotantoketjua eivät pysäyttäisi koko ketjua. Massatuotannossa pyritään siihen, että tuotanto ei pysähdy missään vaiheessa.

Lean-tuotanto eroaa massatuotannosta niin, että siinä pyritään poistamaan prosessista kaikki ne heikkoudet, jotka mahdollisesti aiheuttaisivat ongelmia. Tämä toteutetaan siten, että prosessista poistetaan kaikki turvaverkot, kuten esimerkiksi puskurit. Mikäli havaitaan ongelma, tuotanto pysäytetään ja ongelma korjataan. Lean-tuotantoprosessi on niin vahva kuin sen heikonlenkki ja tästä syystä prosessissa oleviin ongelmiin täytyy löytyä ratkaisu, muuten koko järjestelmä kaatuu. Lean-tuotannossa keskitytään ongelmien ratkaisuun ja niistä oppimiseen.[23]

Lean-ajattelussa nimenomaan pyritään keskittymään arvon tuottamiseen ja tämän edellytyksenä on että tarkastellaan koko ketjua asiakastilauksesta aina tuotteen toimitukseen asiakkaalle kokonaisuutena. Eli ei ole tarkoitus osaoptimoida tiettyä vaihetta tuotantoprosessissa vaan tarkastella sitä kokonaisuutena ja lyhentää sitä aikaa mikä kuluu, kun tuote kulkee tämän ketjun läpi.

3.3 Hukka

Hukaksi lasketaan kaikki mikä ei lisää tuotteen arvoa asiakkaan näkökulmasta. Eli prosessia tarkastellaan asiakkaan silmin ja pyritään tunnistamaan ne osa-alueet, joista asiakas on valmis maksamaan. Asiakkaalla voidaan tässä tapauksessa tarkoittaa loppuasiakasta tai sisäistä asiakasta, joka voi olla seuraava prosessivaihe tai oma tuotantolaitos. Kaikki ne vaiheet, jotka eivät tuota asiakkaalle arvoa ovat hukkaa. Tätä menetelmää voidaan käyttää oli kyseessä valmistus-, palvelu- tai informaatioprosessi.

Lean-ajattelussa pyritään poistamaan hukka prosessista. Osa hukasta kuitenkin on välttämätöntä jota ei voi poistaa, kuten esimerkiksi tuotteen siirtäminen tuotantolaitoksen sisällä tai työkalujen siirtäminen oikeaan paikkaan. Mikään näistä edellä mainituista ei lisää asiakkaan kokemaan arvoa, mutta se on välttämätöntä, jotta tuote pystytään valmistamaan.

Liker käyttää kirjassaan Toyotan mallia hukan luokitteluun[24]. Tähän malliin hän on itse lisännyt yhden kohdan. Toyotan malli perustuu pitkälti Toyotan pitkäaikaiseen tuotantopäällikön Taichi Ohnon havaintoihin. Ohno tunnisti seitsemän hukka tyyppiä, jotka esiintyivät Toyotan tuotantoprosessissa. Myöhemmin on havaittu, että nämä samat hukkatyypit ovat havaittavissa missä prosessissa tahansa.

3.3.1 Ylituotanto

Ensimmäinen hukkatyyppi on ylituotanto. Ylituotantoa pidetään hukan kaikkein pahimpana muotona, sillä se sitoo muita resursseja. Tuotteet, joille ei ole olemassa tilausta sitovat pääomaa, työntekijöitä ja vievät varastotilaa. Eli ylituotanto synnyttää lisää hukkaa. [24]

3.3.2 Odottelu

Toinen hukan muoto on odottaminen. Tuotteen kaikenlainen odottaminen on hukkaa, sillä silloin tuote ei virtaa prosessissa. Odotuksesta johtuvaa hukkaa on, kun ylituotannon seurauksena tuotteet odottavat puskurissa. Hukkaa on myös työntekijän odottelu, kun jokin automaattinen kone tai tuotantolaite on käynnissä. Lisäksi odottelusta aiheutuvaa hukkaa on, jos tuotantoketjussa oleva prosessi pysähtyy ja joutuu odottamaan edellisen vaiheen valmistumista. Tämä voi johtua materiaalipuutteista, tuotantoerien viivästymisistä, tuotantolaitteiden hajoamisesta tai prosessin kapasiteettia rajoittavasta pullonkaulasta. [24]

3.3.3 Tarpeeton kuljetus

Kolmas hukan tyyppi on tuotteiden, materiaalin, työkalujen tai ihmisten turha liikuttelu tai kuljettaminen. Tätä hukkaa aiheuttaa se, että joudutaan kuljettamaan pitkiä matkoja keskeneräisiä tuotteita. Lisäksi turhaa kuljetusta on se, kun tavaroita siirretään varastoon tai seuraavaan prosessivaiheeseen. [24]

3.3.4 Tarpeeton käsittely

Neljäs hukkamuoto on ylityöstö/vääränlainen työstäminen ja tarpeeton käsittely. Tarpeeton käsittely on hukkaa, koska silloin käytetään resursseja tehottomasti jonkin asian tekemiseen. Käytetään tarpeettoman monimutkaisia menetelmiä tai työkaluja. Ylityöstöhukkaa on myös se, jos tehdään tuotteita, jotka ovat laadukkaampia, mitä asiakas tarvitsee. [24]

3.3.5 Varastot

Viides hukan muoto on varastointi. Ylimääräiset tavarat varastossa vievä tilaa, sitovat työntekijöitä ja pääomaa. Varastoja täytyy yleensä olla jonkin verran, mutta lean-tuotannossa niiden minimointiin tulee pyrkiä jatkuvasti. Varastot vaikeuttavat prosessin kehittämistä, sillä varastot piilottavat alleen todelliset ongelmat. [24]

3.3.6 Tarpeeton liike

Kuudes hukkamuoto on ylimääräiset liikkeet. Ylimääräisistä liikkeistä aiheutuvaa hukkaa on kaikki ne ylimääräiset liikkeet, joita työntekijä joutuu tekemään ja joiden seurauksena tuotteen arvo ei lisäännä. Tähän kategoriaan kuuluu kaikki työkalujen ja materiaalin etsiminen, kurottaminen, pinoaminen ja pujottaminen ovat hukkaa. [24]

3.3.7 Virheet

Seitsemäs hukkan muoto aiheutuu virheistä. Virheiden seurauksena aiheutuu viallisia tuotteita jotka ovat arvottomia asiakkaalle, lisäksi viallisten tuotteiden korjaaminen on hukkaa. Myös se, että tuotteet joudutaan tarkastamaan on hukkaa sillä asiakas ei maksa tarkastamisesta vaan siitä, että asiat tehdään kerralla oikein. Virheet prosessissa aiheuttavat suuren määrän ylimääräistä työtä ja materiaalikulua. [24]

3.3.8 Inhimillisen osaamispääoman hukka

Kahdeksas ja viimeinen hukkan muoto on luovuuden ja ideoiden käyttämättä jättäminen. Usein työntekijöillä on monia ideoita, miten asiat voitaisiin hoitaa paremmin. Niitä ei uskalleta kertoa tai ne eivät vain koskaan tule puheeksi. Kaikki käyttämättä jäävät ideat, kyvyt, parannusehdotukset ja oppimismahdollisuudet ovat hukkaa. [24]

3.4 Lean-periaatteet

Womac ja Jones tiivistivät lean-ajattelun viiteen periaatteeseen[22]. Ensimmäisessä vaiheessa tarkastellaan, mitä asiakkaan kokema arvo on. Toisessa vaiheessa, kun arvo on määritelty, pyritään määrittämään arvovirta. Kolmas vaihe on virtaus, eli pyritään siihen, että arvoa tuottavat tuotantovaiheet järjestetään arvovirran mukaisesti järjestykseen, jolloin saadaan aikaan arvon jatkuva virtaus. Neljäs vaihe on siirtyä imuohjaukseen, eli tehdään vain sitä mitä asiakas on tilannut. Viides ja viimeinen vaihe on pyrkimys täydellisyyteen.[22]

3.4.1 Arvo

Arvon määrittäminen on tärkeä periaate lean-ajattelussa, koska koko menetelmä perustuu arvon mahdollisimman tehokkaaseen tuottamiseen. Arvo tulee määrittellä tuotekohtaisesti. Lean-ajattelussa arvolla tarkoitetaan asiakkaan kokemaa arvoa. Riippumatta siitä onko kyseessä valmistus-, palvelu-, markkinointi- tai kehitysprosessi, prosessin ainoa arvoa tuottava vaihe on se fyysisen kappaleen tai informaation muutos tuotteeksi, palveluksi tai toiminnaksi, josta asiakas on valmis maksamaan[24 s.17]. Asiakas voi tässä tapauksessa olla ulkoinen asiakas tai sisäinen asiakas. Ulkoinen

asiakas ostaa tuotteen, mutta sisäinen asiakas voi olla seuraava prosessivaihe tuotteen arvovirrassa, joka odottaa edellisen prosessivaiheen tuotetta.

3.4.2 Arvovirran tunnistaminen

Arvovirta käsittää kaikki ne erilliset prosessivaiheet, joita tarvitaan tuotteen saamiseksi asiakkaalle. Arvovirta voidaan jakaa karkeasti kolmeen osaan[22]. Ensimmäinen osa on ongelman ratkaisuvaihe, joka käsittää tuotteen suunnittelun aina konseptivaiheesta tuotannon aloitukseen. Toinen vaihe on informaation hallinta -vaihe, joka käsittää tilauksen käsittelyn, tuotantokapasiteetin suunnittelun ja ulottuu aina lopputuotteen toimitukseen asiakkaalle. Kolmas vaihe on fyysinen muutosvaihe, joka alkaa tuotteen raaka-aineista ja jatkuu aina valmiiseen tuotteeseen saakka. Arvovirta käsittää kaikki nämä osa alueet sillä jokaisessa vaiheessa tuotteeseen lisätään jotakin mistä asiakas maksaa, eli sen arvo kasvaa.

Arvovirran analysoinnin avulla pystytään kartoittamaan tuotteen koko tuotantoketju ja se nähdään kokonaisuutena. Arvovirran tunnistamisen etuna on se, että se tuo esille prosessissa olevan hukan. Tärkeintä on varmistaa, että arvoa tuottavat prosessivaiheet on kytketty toisiinsa niin, että ne muodostavat katkeamattoman ketjun aina asiakastilauksesta toimitettuun tuotteeseen.

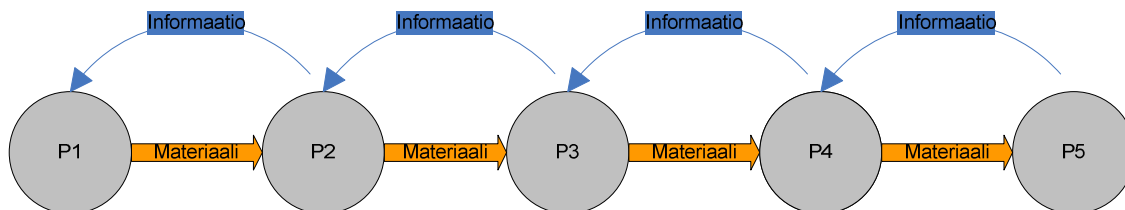
Arvovirtakartta

Arvovirtakartta (eng. Value Stream Map, VSM) on menetelmä, jolla arvovirtaketju pystytään kuvaamaan. Arvovirtakartta on esitetty liitteen A kuvassa A1. Arvovirtakartta kertoo, mitä prosesseja tuotteen valmistukseen kuuluu, miten materiaali ja informaatio kulkee tuotteen arvovirrassa, lisäksi arvovirtakartta auttaa hukan tunnistamisessa arvovirrasta. VSM:ssä laatikot edustavat prosesseja, nuolilla merkitään informaatiota ja kolmioilla kuvataan varastoja. Puskurin koko on merkitty kolmion alapuolelle ja prosesseilla on yleensä avainlukuja, jotka on merkitty prosessilaatikon alapuolelle. VSM:n alareunassa kulkee aikajana, johon merkitään aina kunkin vaiheen kesto ja samalla aikajana jaetaan arvoa lisääviin vaiheisiin ja ei arvoa lisääviin vaiheisiin. Arvovirtakartta on erittäin hyödyllinen työväline nykytilan kartoittamiseen. Tämän lisäksi sitä käytetään arvovirran kehittämisen kuvaamiseen.

3.4.3 Virtaus

Virtausta tarkasteltaessa asetetaan tuotteen rooliin. Virtaus kuvaa miten tuote kulkee tuotantoprosessin läpi. Lean-ajattelussa virtauksella tarkoitetaan sitä, että tuote kulkee prosessin läpi ilman pysähdyksiä ja odotusta[22]. Jokaisessa prosessivaiheessa tuotteen arvo lisääntyy, siihen lisätään osia tai ominaisuuksia, joita asiakas haluaa. Eli arvovirtaketju voidaan ajatella jokena, jossa tuotteet kulkevat kohti alajuoksua ja jokeen yhtyy jokaisessa prosessivaiheessa pieni puro joka kasvattaa tuotteen arvoa ja joen alajuoksulla odottaa asiakas, joka saa valmiin tuotteen. Virtaus on sitä, kun tuote kulkee tuotantoketjun läpi ilma pysähdyksiä ja esteitä, samalla tavoin kuin vesi virtaa joessa. Virtauksen nopeuden arvovirtaketjussa määrää asiakaskysyntä.

3.4.4 Imuohjautuvuus



Kuva 7. Kaaviokuva imuohjautuvuudesta.

Imuohjauksessa asiakas tilaa tuotteen ja sen valmistus aloitetaan vasta sen jälkeen, kun varsinainen tilaus on vastaanotettu[22]. Toisin sanoen asiakas imee tuotteen tuotantoprosessista. Samaa ajatusta käytetään läpi koko tuotantoketjun. Asiakas voi olla myös sisäinen prosessi, jolloin edellinen prosessivaihe tuottaa seuraavan tuotteen vasta, kun asiakasprosessi on kuluttanut edellisen. Imuohjautuvuudella varmistetaan virtaus prosessivaiheiden välillä. Kaaviokuva imuohjautuvuudesta on esitetty kuvassa 7. Imuohjautuvuudessa informaatio liikkuu kahteen suuntaan. Oletetaan, että kuvan 7 P5 on asiakas ja P4 on toimittaja. Kun P5 tilaa tuotteen informaatio kulkee P4:lle ja se valmistaa tuotteen P5:lle. Saman aikaisesti P4:tä on lähtenyt informaatio alihankkijalle P3, joka täydentää P4:n varaston. Tämä sama ketju jatkuu aina läpi koko toimitusketjun. Eli imuohjautuvuudessa tehdään vain ja ainoastaan se tuote, jonka asiakasprosessi on kuluttanut.

3.4.5 Täydellisyyden tavoittelu

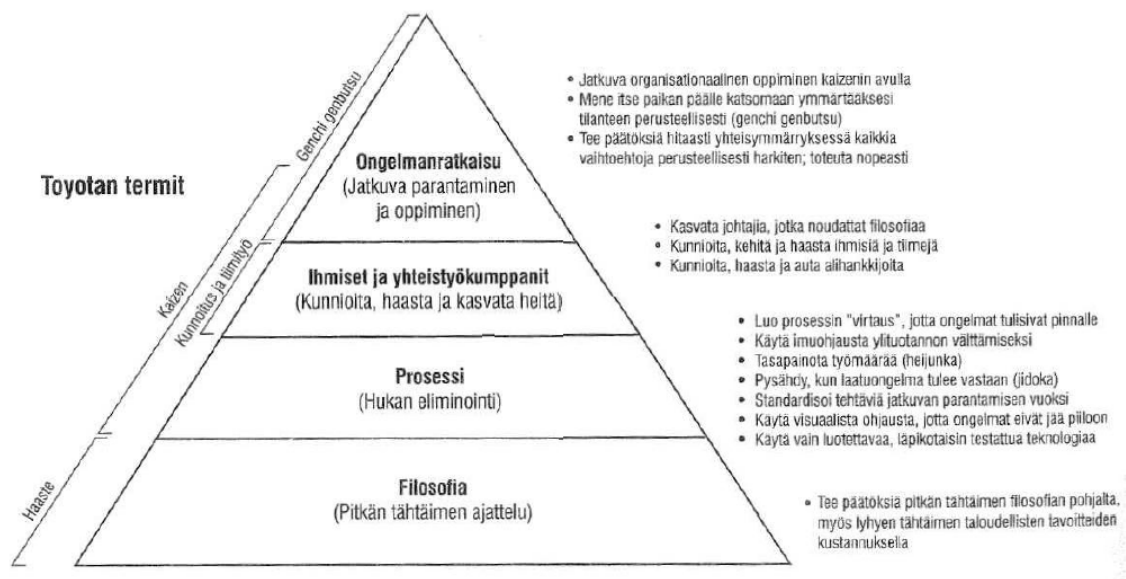
Kun kaikki edellä mainitut neljä periaatetta on käyty läpi on aika palata taas alkuun ja aloittaa koko ketju taas alusta. Kun nämä edellä mainitut vaiheet on käyty läpi havaitaan että ymmärrys arvosta, arvovirrasta, virtauksesta ja imuohjauksesta on kehittynyt ja että nykyisessä arvovirrassa on paljon parannettavaa. Mitä pidemmälle lean-ajattelun soveltamisessa mennään havaitaan, että aina löytyy parannettavaa.[22]

3.5 Neljän P:n malli

Lean-periaatteiden perusteella havaitaan, että lean-ajattelumallin toteuttaminen organisaatiossa ei ole yksinkertainen asia, sillä se poikkeaa hyvin suuresti esimerkiksi massatuotannon lähtökohdista. Tästä syystä Jeffrey Liker korostaa sitä, että lean-filosofiaa ei voi toteuttaa vain osittain vaan se muodostaa kokonaisuuden, jota on noudatettava joka päivä, kaikilla organisaation tasoilla[26]. Likerin mukaan lean-filosofia voidaan jakaa neljään portaaseen, jotka muodostavat 4P-pyramidin.

Yrityksissä on usein lähdetty liikkeelle siitä, että on otettu käyttöön muutamia Toyotan käyttämiä lean-työkaluja. Tämä on johtanut siihen, että aluksi on saatu loistavia tuloksia, mutta vähitellen ajan myötä organisaatio on valunut takaisin vanhoihin massatuotannon menetelmiin. Näissä yrityksissä on usein keskitytty 4P-mallin

prosessivaiheeseen ja jääty siihen, eikä ole kehitetty pyramidin 3 muuta osaa. 4P-malli on esitelty kuvassa 8.



Kuva 8. Kuva 4P-mallin pyramidista[24 s.17].

3.5.1 Filosofia

Pyramidin pohjalla on filosofia, joka tässä järjestelmässä tarkoittaa koko organisaation olemassa olon tarkoitusta. Mitkä ovat ne pitkän tähtäimen tavoitteet, joihin organisaation tulisi pyrkiä. Filosofian tulisi tukea pitkän tähtäimen tavoitteita, siitäkin huolimatta, että ne saattavat vaarantaa lyhyen aikavälin taloudellisten tavoitteiden saavuttamisen[24 s.17]. Filosofian tulisi kuitenkin olla tiukasti yhteydessä pitkän aikavälin taloudellisiin menestymiseen ja yrityksen kasvuun, jotta työntekijöillä on jokin konkreettinen tavoite, mihin pyrkiä[26]. Koko muu pyramidi nojaa tähän ensimmäiseen portaaseen.

3.5.2 Prosessi

Pyramidin toinen taso on prosessitaso, joka sisältää kaikki ne menetelmät, joiden avulla lean-tuotantoprosesseja tulee kehittää. Organisaation kaikkien tasojen tulee sisäistää ja pyrkiä hyödyntämään näitä menetelmiä. Näitä menetelmiä ovat kaikki edellä esitetyt lean-periaatteet. Lisäksi prosessiosiossa korostetaan sitoutumista prosessin kehittämiseen varmoiksi havaittujen teknologioiden avulla.

3.5.3 Ihmiset ja kumppanit

Pyramidin kolmannella tasolla korostetaan sitoutumista lean-ajattelumallille ja organisaation filosofialle. Lisäksi tässä vaiheessa painotetaan voimakkaasti sitoutumista

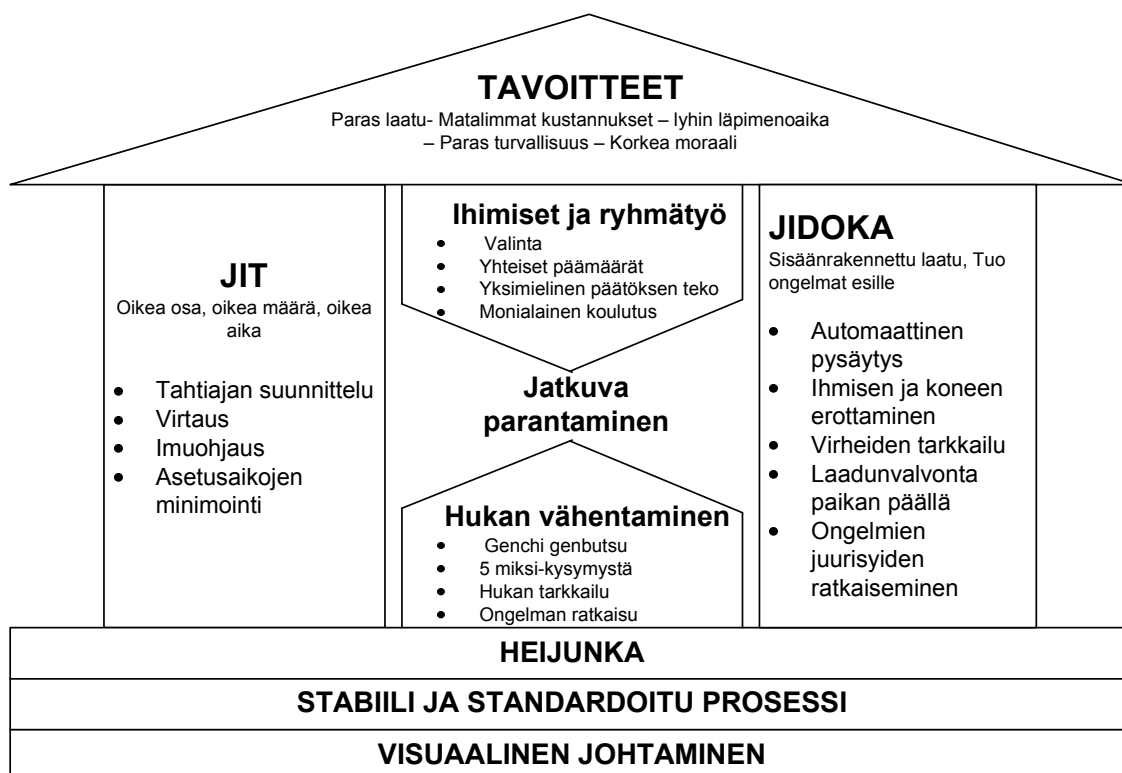
oman organisaation ihmisten ja yhteistyöyritysten kehittämiseen ja kouluttamiseen, jotta he sisäistäisivät lean-ajattelumallin ja toteuttaisivat sitä käytännössä.

3.5.4 Ongelman ratkaisu

Pyramidin huippu kuvaa 4P-mallin viimeistä vaihetta. Tässä vaiheessa pyritään korostamaan sitä, miten tärkeää koko organisaation on sitoutua ongelmanratkaisutyöhön, kun pyramidin alempien tasojen asioita toteutetaan käytännössä. Pyramidin huippu kuvastaa, miten tärkeää toimivan lean-tuotannon ylläpitämiselle on jatkuva parantaminen ja organisaation oppiminen, jota tapahtuu kun koko organisaatio osallistuu esille tulevien ongelmien ratkaisuun.

3.6 Toyotan talomalli

Lean-tuotantojärjestelmä on kokonaisuus, joka on enemmän kuin osiensa summa. Lean-tuotantojärjestelmää ei voi implementoida valikoimalla vain muutamia yleisimpiä työkaluja ja olettaa, että se toimii. Näillä yksittäisillä työkaluilla voidaan saavuttaa nopeasti hyvinkin suuria parannuksia prosessin tehokkuudessa. Tämän loistavan kehityksen ylläpitäminen käy kuitenkin hankalaksi, sillä järjestelmän muut osat puuttuvat. Tämän lisäksi organisaation kulttuuri ei välttämättä tue jatkuvaa parantamista ja oppimista, jolloin ihmiset joiden pitäisi työskennellä näiden uusien työskentelytapojen mukaisesti, eivät välttämättä ymmärrä niiden taustalla olevaa ajatusta ja liukuminen vanhoihin menetelmiin alkaa. Jotta lean-menetelmillä saataisiin aikaan pysyviä tuloksia, on erittäin tärkeää toteuttaa kaikki viisi perusperiaatetta, mutta myös tämän lisäksi on välttämätöntä, että organisaation jokaisella tasolla ymmärretään ja ollaan sitoutuneita 4P-mallissa esitettyihin seikkoihin. Lean-tuotantojärjestelmän ylläpitäminen vaatii jatkuvaa työtä. Lean-periaatteiden mukaisesti toimivaa järjestelmää ei voi rakentaa, mikäli jokin näistä osa-alueista puuttuu. Niinpä Toyota on kuvannut omaa tuotantojärjestelmää (eng. Toyota Production Systemiä, TPS) talona[24]. Talo on niin tukeva kuin sen heikoin osa. Jokaisella komponentilla on oma tehtävänsä ja ne ovat osa kokonaisuutta. TPS-talo on esitetty kuvassa 9.[27]



Kuva 9. Kuva TPS talosta[24 s.].

Talomalli koostuu katosta, joka kuvaa tavoitteita joihin organisaatio pyrkii. Talon toinen kantava pilari on JIT -ajattelu. Talomalli osoittaa kuinka JIT on vain osa paljon suurempaa kokonaisuutta. Talon toinen pilari on Jidoka ja sillä tarkoitetaan periaatetta, jossa viallista tuotetta tai komponenttia ei päästetä seuraavaan prosessivaiheeseen ja samalla siinä pyritään erottamaan ihmiset tuotantolaitteista. Talon perustus koostuu tuotannontasoituksesta (jpn, Heijunka), standardoiduista ja stabiileista prosesseista, visuaalisesta ohjauksesta ja koko toiminnan pohjalla olevasta filosofiasta. Talomallin keskellä on ihmiset ja yhteistyö, sekä hukan vähentäminen. Talomallin ytimessä on jatkuva parantaminen, mikä on lean-ajattelun ydin ja kaiken toiminnan päämäärä.

3.6.1 Juuri oikeaan aikaan

JIT on lean-talon toinen tukijalka kuvassa 9. Juuri oikeaan aikaan on lean-tuotannon kaikkein tunnetuin osa. JIT:llä yritetään saada materiaali virtaamaan nopeammin prosessin läpi niin, että oikeat tavarat ovat oikeassa paikassa oikeaan aikaan ja prosessista voidaan poistaa kaikki puskurit ja välivarastot. Käytännössä ainoa tapa toteuttaa tämä on tehdä kaikki prosessivaiheet yksi kappale kerrallaan.

Tahti

JIT vaatii toimiakseen sen, että kaikki prosessiin kuuluvat prosessivaiheet toimivat synkronoidusti. Mikäli jokin yksittäinen prosessin osa toimii tehokkaammin kuin muut se sotkee koko järjestelmän[28].

Lean-ajattelun mukaisesti koko prosessin toiminta täytyy olla saman aikaista, jotta oikeat materiaalit ovat oikeassa paikassa oikeaan aikaan, juuri silloin kun niitä tarvitaan.

ja niitä on oikea määrä. Tahtia käytetään, jotta koko prosessi tai tarvittaessa useat prosessit voisivat toimia synkronoidusti.

Tahdin implementointiin käytettävät työkalut

Asiakastahti

Tahti määrää kuinka usein prosessi tuottaa yhden tuotteen. Kaikkein tehokkaimmin JIT toteutuu, kun prosessi tuottaa tuotetta asiakaskysynnän mukaan. Asiakaskysynnästä määritetään asiakastahti, joka kertoo kuinka usein asiakkaat keskimäärin haluavat tuotetta. Asiakastahti ilmoitetaan missä ajassa asiakas haluaa yhden tuotteen. Asiakastahti on työkalu, jonka avulla pystytään selvittämään tuotantoprosessin tahtiaika.

Tahtiaika

Tahtiaika (eng. Takt Time, TT) on lean-työkalu, jonka avulla tahti saadaan realisoitua tuotantoprosessiin. Tahtiaika on se aika, missä prosessin on pystyttävä tuottamaan yksi tuote asiakaskysynnän täyttämiseksi. On tärkeää kuitenkin huomata, että asiakastahti on eri asia kuin tahtiaika, sillä asiakastahti ei ota kantaa, siihen kuinka kauan prosessia on mahdollista käyttää tietyssä aikayksikössä. Asiakkaat voivat tilata tuotteita mihin aikaan vuorokaudesta tahansa. Tuotantoprosessi saattaa kuitenkin toimia esimerkiksi yhdessä vuorossa, jolloin päivittäinen tehokas tuotantoaika on noin 400 minuuttia. Eli tällöin tuotantoprosessia ohjaavan tahtiajan tulee olla huomattavasti nopeampi kuin asiakastahdin.

Päivittäinen kysyntä (eng. Daily Demand, DD) lasketaan kaavan 4 mukaan. Päivittäisestä kysynnästä voidaan laskea tahtiaika kaavalla 5.[29]

$$DD = \frac{\text{Kuukausittainen asiakaskysyntä}}{\text{päiviäkuukaudessa}} \quad (4)$$

$$TT = \frac{\text{Päivittäinentuotantoaika}}{DD} \quad (5)$$

Tahtiaika voidaan määrittää jokaiselle prosessin osalle erikseen tai koko prosessille. Yksittäisten prosessivaiheiden kohdalla tämä voi joissain tapauksissa tarkoittaa myös sitä, että sen nopeutta pyritään hidastamaan, jos se on liian nopea. Toinen vaihtoehto liian nopean prosessivaiheen pysäyttäminen, kun puskuri on täynnä ja vaihe käynnistetään uudestaan vasta sitten, kun puskuri on tyhjä. Mikäli jokin prosessivaihe on hitaampi eikä ehdi mukaan prosessin tahtiin, niin hidasta prosessivaihetta nopeutetaan tai se kopioidaan. Jos prosessivaihe kopioidaan, käytetään molempia prosesseja niin, että niiden ulosanti on samassa tahdissa muun järjestelmän kanssa.

Prosessia suunniteltaessa tulee ottaa huomioon, että asiakaskysyntä vaihtelee. Se saattaa vaihdella päivittäin, kuukausittain tai vuoden alku- ja loppupuolen välillä hyvin voimakkaasti. Tästä syystä prosessi tulisi suunnitella niin, että suunniteltu tahtiaika[30], eli minimi tahtiaika silloin kun prosessia kuormitetaan maksimi kuormalla on niin pieni, että prosessi kykenee vastaamaan huippukysynnänkin aikana asiakaskysyntään. Tämä johtaa siihen, että alhaisemman kysynnän vallitessa prosessin tahtiaikaa muutetaan suuremmaksi, jotta se taas vastaisi muuttunutta asiakastahtia.

Virtaus

Kaikista hyvistä puolista huolimatta virtauksen tuominen prosessiin tekee prosessista erittäin haavoittuvan, sillä tällöin prosessivaiheiden välistä on poistettu kaikki turvaverkot ja pieninkin ongelma pysäyttää koko prosessin. Toisaalta tämä prosessin haavoittuvuuden aikaan saaminen on yksi keskeisistä periaatteista lean-tuotannossa. Kun prosessista on poistettu kaikki ylimääräiset turvaverkot, jotka paikkaavat heikoimpien prosessivaiheiden ongelmia, nähdään missä piilevät prosessin todelliset ongelmat, jotka korjaamalla prosessista tulee todellisuudessa parempi. Virtauksen käyttäminen estää sen, että prosessivaiheita osaoptimoidaan, joka pahimmillaan johtaa siihen, että prosessivaiheiden välillä olevien puskurien kokoa on suurennettava.

Virtauksen implementointiin käytettävät työkalut

Yhdenkappaleen virtaus

Toyota on jo pitkään pyrkinyt parantamaan virtausta omissa prosesseissaan. Toyotalla on tultu siihen tulokseen, että kaikkein parhaiten virtaus toimii silloin, kun käytetään niin sanottua yhdenkappaleen virtausta (eng. one-piece flow) tai jatkuvaa virtausta (eng. continuous flow)[28][24 s.50]. Yhdenkappaleen virtauksella tarkoitetaan sitä, että tuotteita tehdään ja liikutetaan yksikappale kerrallaan prosessivaiheiden läpi, niin yhtäjaksoisesti kuin mahdollista, tahtiajan määräämässä ajassa.[21] Yhdenkappaleen virtaus on työkalu, jolla virtaus on helpoin toteuttaa tuotantoympäristössä.

Yhdenkappaleen virtauksella saavutettaviin etuihin kuuluu muun muassa se, että prosessiin tuottaa laadullisesti parempia tuotteita, kuin massatuotanto menetelmät. Jokaisessa prosessin vaiheessa tuotetta käsitellään yksittäin, jolloin työvaiheen suorittaja pystyy joka työvaiheessa tarkistamaan tuotteen laadun ja tekemään tarvittaessa korjaavat toimenpiteet tuotteelle saman tien, kun ne on havaittu, eikä päästä tuotetta eteenpäin prosessissa ennen kuin havaitut ongelmat on korjattu.

Yhdenkappaleen virtaus parantaa myös prosessin joustavuutta. Kun prosessin resurssit on sidottu yhteen tuotteeseen tai tuoteperheeseen, niin silloin joustavuus kärsii, koska tällöin resursseja ei voida allokoida muille tuotteille. Tilanne kuitenkin muuttuu, kun virtauksen seurauksena läpimenoaika on lyhyt. Tällöin prosessin joustavuus on aivan uudella tasolla, koska prosessia voidaan käyttää juuri siihen mitä asiakas kulloinkin haluaa. Kysynnän vaihdellessa voidaan prosessin tuotevalikoimaa muuttaa niin, että se vastaa kysyntää joka tilanteessa. Lisäksi yhden kappaleen virtauksen ansiosta tuotantoprosessin tuottavuus nousee, koska keskitytään tilausohjatusti tekemään vain niitä asioita joista asiakas maksaa.

Lisäksi tuotantoympäristössä virtauksen seurauksena saavutetaan tilasäästöjä, koska kaikki tuotantoprosessin vaiheet pyritään kytkemään toisiinsa mahdollisimman tehokkaasti ja niiden väliltä poistetaan varastot. Tehdasympäristössä suurimman tilan vievät yleensä varastot. Virtauksen ansiosta varaston kokoa pyritään järjestelmällisesti pienentämään, kuitenkin niin, että varaston pieneminen ei pysäytä tuotantoa. Kun lean-menetelmiä on sovellettu tehdasympäristössä on havaittu, että työturvallisuus on parantunut, sillä kerralla liikutellaan pienempiä tavaramääriä, lyhyempiä matkoja tehtaan lattialla ja samalla trukkien käyttö on vähentynyt[28].

Asetusaikojen minimointi

Asetusaikojen minimointi on lean-työkalu, jolla edistetään virtauksen toteutumista. JIT vaatii, että tuotteet virtaa tuotantoprosessin läpi mahdollisimman lyhyellä läpimenoajalla. Se, mitä tuotevariaatioita tuotantoprosessin läpi milloinkin täytyisi

mennä riippuu täysin kysynnästä. Tämä aiheuttaa haasteita tuotantolaitteille, joilla on pitkät asetusajat tuotteenvaihdon yhteydessä. Pitkät ja hankalat tuotteenvaihdot tuotantolaitteessa haittaavat JIT-tuotantoa, sillä parhaimmillaan JIT-tuotannon läpi ei mene kahta saman laista tuotetta peräkkäin.

Sigeo Shingo on kehittänyt SMED (eng. Single Minute Die Change, SMED) menetelmän asetusajojen minimointiin[33]. Menetelmän perusajatuksena on, että tuotantolaitteen asetusprosessi voidaan jakaa sisäiseen ja ulkoiseen asetusvaiheeseen. Näiden erona on se, että sisäisessä asetusvaiheessa tuotantolaitte täytyy pysäyttää, mutta ulkoinen asetusvaihe voidaan suorittaa laitteen ollessa käynnissä. SMED perustuu kolmeen vaiheeseen. Ensimmäisessä vaiheessa sisäinen ja ulkoinen asetus erotetaan selkeästi toisistaan. Toisessa vaiheessa pyritään muuttamaan mahdollisimman suuri osa sisäisestä asetusvaiheesta ulkoiseksi, jotta tuotantolaitteen asetukseen kuluva aikaa voidaan pienentää. Kolmannessa vaiheessa on tarkoitus virtaviivaistaa niin sisäistä kuin ulkoista asetusvaihetta, jotta kokonaisasetusaikaa saadaan lyhyemmäksi.

Imuohjautuvuus

Lean ajattelussa pyritään aina yhdenkappaleen virtaukseen, mikäli se vaan on mahdollista. Joitain prosessivaiheita on mahdotonta kytkeä toisiinsa niin, että saavutetaan yhdenkappaleen virtaus. Tällöin prosessivaiheiden väliin on sijoitettava puskuri. Se miten tätä puskuria ohjataan on ratkaisevaa, jotta sen aiheuttama hukka prosessissa voidaan minimoida. Puskurin ohjaukseen JIT-mallissa käytetään imuohjausta.

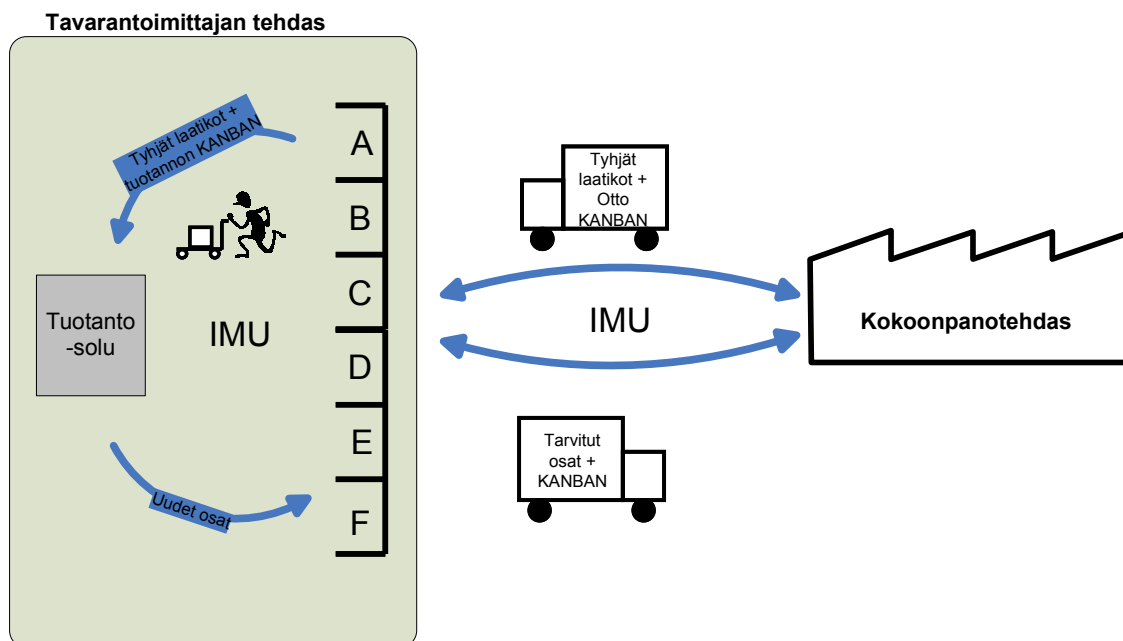
Toyotan lean-talomallissa tukipilarina olevan JIT:n kolme tärkeintä elementtiä ovat imuohjaus, tahti ja virtaus, yhdessä ne estävät ylituotantoa ja mahdollistavat varastojen pienentämisen jokaisessa prosessivaiheessa[21]. Lean-tuotannossa käytetään kolmea työkalua imuohjautuvuuden saavuttamiseksi. Nämä ovat kanban ohjaus, FIFO-jono ja valintamyymälähylly (eng. supermarket).

Imuohjautuvuuden implementointiin käytettävät työkalut

Kanban

Kanban on Lean-tuotannossa laajasti käytetty työkalu, jolla ohjataan koko prosessia. Tuotantoympäristössä kanban-menetelmällä ohjataan tuotantoa ja tavarankäyttöä. Imuohjautuvuudessa Kanban on imun signaalintijärjestelmä. Kanban-signaali antaa luvan ja ohjeet siihen mitä seuraava prosessivaihe tarvitsee. Signaaleja voi olla kahden tyyppisiä. Se voi määrätä mitä tulee seuraavaksi tuottaa tai se voi ohjata sitä minne materiaali tulee viedä[21]. Ensin kuvattua kanban-signaalia kutsutaan tuotantokanbaniksi ja toista ottokanbaniksi (eng. withdrawal kanban). Kanban-signaali sisältää tiedon siitä mitä tulee tehdä, kenen se tulee tehdä, kuinka monta tulee tehdä, mihin työn tulokset tulee viedä ja kuinka usein signaalin tulisi liikkua prosessivaiheiden välillä.

Kuvassa 10 on esitetty kanban-signaalien toiminta tuotantoympäristössä. Kuvassa 10 kokoonpanotehdas tilaa komponentteja tavarantoimittajalta tehtaalta imuohjautuvasti ottokanbanilla. Tavarantoimittajalta tehdas taas ohjaa omaa toimintaansa imuohjautuvasti tuotantokanbanilla, tuotantosolun ja varaston välillä.



Kuva 10. Kuva kanban-signaalien toiminnasta tuotannossa[28].

Tuotantoympäristössä kanban-signaalin välitykseen käytetään yleensä kanban-korttia, jossa on kaikki edellä mainitut tiedot kirjattuna. Kortti liikkuu kahden prosessivaiheen välillä ja välittää imuohjausinformaation jälkimmäiselle prosessivaiheelle. [32]

Puskurit imuohjautuvassa tuotannossa

Leanissa pyritään välttämään puskureita ja varastoja pyritään pienentämään jatkuvasti. Joissain tilanteissa prosessivaiheiden välillä olevat puskurit ovat välttämättömiä. FIFO-jono ja supermarket ovat työkaluja, joilla voidaan toteuttaa imuohjautuvia puskureita[31]. Ensisijaisesti prosessivaiheiden välillä olevat puskurit toteutetaan FIFO-jonona, jonka koko on määrätty. FIFO-jono on nimensä mukaisesti jono, jossa ensin sisään tulleet tavarat lähtevät ensimmäisenä ulos. Jonon sisällä tavaroiden järjestys säilyy ja ulos lähtevä tavara on aina vanhinta, eli jonoon ei jää vanhoja tavaroita.

Toinen lean-tuotannossa käytetty puskurityyppi on valintamyymälähylly. Valintamyymälähyllykonsepti on nimensä mukaisesti kopioitu vähittäiskaupasta, jossa tavarat ovat esillä asiakkaalle mahdollisimman helposti otettavassa muodossa ja pois otetun tavarat tilalle liukuu uusi tuote, eli FIFO-periaate toteutuu. Valintamyymälähyllyä käytetään yleensä silloin, kun prosessi tarvitsee paljon erilaisia komponentteja. Valintamyymälähyllyssä tavarat ovat aina prosessin käytettävissä ja tyhjät paikat laukaisevat tuotantokanban-signaalin edelliselle prosessivaiheelle, joka tekee puuttuvan tuotteen valintamyymälähyllyyn. Lisäksi kolmas vaatimus valintamyymälähyllylle on se, että tavarat löytyvät aina samasta paikasta. Tämä poistaa tavaroiden etsimisestä aiheutuvaa hukkaa.

3.6.2 Jidoka

Lean-talon toinen pilari on Jidoka kuva 9. Jidoka on ajattelumalli, jossa tuotantolaitteilla ja työntekijöillä on kyky havaita viallinen tuote, väärä toimintatapa tai vika prosessissa.

Lisäksi kun laite tai työntekijä havaitsee tämän poikkeaman se pysäyttää heti koko prosessin ja ryhtyy ratkaisemaan tätä ongelmaa[21].

Itse itseään valvovat tuotantolaitteet mahdollistavat sen, että ne eivät jatka toimintaansa vikatilanteessa ja siten ehkäisevät laatuongelmia tuotannossa. Kun laite pystyy tekemään tämän itse, voi työntekijä tehdä arvoa lisääviä työvaiheita tällä aikaa. Samalla työntekijä pystyy käyttämään useampia tuotantolaitteita yhtä aikaa. Jidokan yksi keskeisistä periaatteista on juuri erottaa ihmiset tuotantolaitteista, jotta heidän ei tarvitse odottaa ja valvoa laitteen toimintaa.[33]

0-virhe

Jidokan tarkoitus on rakentaa prosessiin sisään laadun tuottokyky. Lean-tuotannossa korostuu se, että asiat täytyy tehdä kerralla oikein. Sisään rakennettu laatu prosessissa tarkoittaa sitä, että koko prosessi pysähtyy, mikäli virhe tai vika havaitaan. Lisäksi jokaisessa prosessivaiheessa tuote tarkastetaan ja viallista tuotetta ei päästetä etenemään seuraavaan prosessivaiheeseen. Tämä aiheuttaa valtavan paineen ratkaista kyseisen pysähdyns aiheuttaja välittömästi, sillä muuten tuotantoa ei voida jatkaa. Tämä tekee lean-prosessista hyvin hauraan, mutta se varmistaa samalla, että prosessin todellisiin ongelmiin on puututtava tai muuten prosessi pysähtelee jatkuvasti. Tämän seurauksena kehitystä on pakko tapahtua ja se varmistaa, että koko organisaation on pakko korjata ongelma.

Virheen estin

Virheen etsimellä (jpn. poka-yoke) tarkoitetaan kaikkia sellaisia menetelmiä, joilla voidaan varmistaa, että kyseisessä prosessivaiheessa oleva tuote täyttää kaikki sille asetetut laatuvaatimukset. Virheitä sattuu väistämättä, mutta virheen estimiä kehitettäessä ajatellaan virheiden johtuvan siitä, että nykyinen toimintamalli sallii niiden esiintymisen ja juuri tähän toimintamalliin tulee kehittää sisälle virheen etsimiä[34]. Virheen estimien kehittämisessä on tärkeää ymmärtää miten tai miksi virhe tapahtui. Virheen estimien tulisi olla mahdollisimman yksinkertaisia, sillä ne estävät virheen tapahtumisen huomattavasti helpommin kuin monimutkaiset menetelmät. Lisäksi hyvä virheen estin on pitkäikäinen, vaatii vain vähän huoltoa, luotettava, halpa ja suunniteltu hyvin käyttötarkoitukseensa soveltuvaksi[21]. Virheen estimet eivät rajoitu pelkästään laatuvirheiden estämiseen, vaan niiden avulla voidaan estää myös virheet, jotka aiheutuvat mistä tahansa työvaiheesta tai standardi työskentelymenetelmien noudattamatta jättämisestä.

3.6.3 Tasoitettu tuotanto

Kun JIT tekee lean-tuotantoprosessista erittäin haavoittuvan ongelmille ja Jidoka pysäyttää koko prosessin aina, kun ongelma havaitaan. Lean-taloon tarvitaan tasainen ja tukeva perustus. Lean-talon perustuksen toinen osa on tasoitettutuotanto (jpn. heijunka) kuva 9. Suuret kysynnän vaihtelut aiheuttavat ongelmia lean-prosessille. Varsinkin, jos toimitusketju on hyvin pitkä. Mikäli työjonossa olevien tuotteiden määrää ja tyyppiä ei tasata, aiheutuu siitä tuotantoon osapuutteita tai suuria varastoja. Tuotannon tasoituksen avulla prosessi saadaan pidettyä tasapainossa, mikä mahdollistaa prosessissa olevien varastojen minimoinnin. Varastojen minimointi taas parantaa virtausta ja virtaus lyhentää läpimenoaikaa. Varastoilla paikataan järjestelmän epästabiilisuutta. Mikäli lean-prosessin halutaan toimivan tahtiajan puitteissa, tämä onnistuu vain jos tahtiaika

pysyy stabiilina, jotta prosessi voidaan stabiloida. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että tuotantomäärä pyritään pitämään samana päivittäin, muuttamalla prosessin läpikulkevaa tuotevalikoimaa kysynnän mukaan[35]. Tämä aiheuttaa paineita prosessille. Lisäksi peräkkäiset tilaukset harvoin ovat samanlaisia, koska tuotantomäärää pyritään tasoittamaan tuotevalikoiman avulla.

3.6.4 Stabiili ja standardoitu prosessi

Stabiili ja standardoitu prosessi on lean-talon perustuksen toinen osa kuva 9. Lean-tuotannon pyrkimys on jatkuvaan parantamiseen ja oppimiseen. Parannusta ei voi tapahtua mikäli ei ole olemassa stabiilia ja standardoitua pohjaa, jonka päälle parannuksia voidaan tehdä. Mikäli on sattumanvarainen ja tälle pohjalle tehdään parannuksia, niiden tulokset eivät näy missään[36]. Tällaisesta prosessista on mahdotonta sanoa onko se parantunut vai heikentynyt. Standardointia tehdään, jotta saadaan parhaat menetelmät kaikkien käyttöön. Parannukset todella vaikuttavat vasta kun kaikki käyttävät niitä. Prosessin standardointi ei auta, jos standardia ei noudateta. Lean-tuotannossa kaikki osa-alueet ovat kytketty toisiinsa ja ne rakentuvat toistensa päälle, jos tällaisessa ympäristössä ei noudateta standardia, koko järjestelmä hajoaa.

3.6.5 Ihmiset ja yhteistyö

Lean-talon sisällä on ihmiset ja yhteistyö, joka on äärimmäisen tärkeä osa-alue, koko talon toiminnan kannalta, kuva 9. Lean-ajattelun pohjalta toimivassa järjestelmässä varastojen kokoa pienennetään JIT-työkalujen avulla. Tällöin tulee prosessissa esiin uusia ongelmia. Ongelmien esiin tuominen on hyödyllistä ainoastaan silloin, kun on olemassa motivoitunut joukko, joka on valmis ratkaisemaan nämä esiin tulleet ongelmat. Ilman järjestelmää käyttävien ihmisten yhteistyötä ja tukea ongelmien esiintuominen järjestelmässä ei johda ongelmien ratkaisemiseen vaan niiden kasaantumiseen. Kaiken lisäksi ongelmien ratkaisun täytyy olla jatkuvaa, sillä uusia ongelmia tulee jatkuvasti lisää.[27]

Kun lean-menetelmiä otetaan käyttöön tuotantoympäristössä, hyvin nopeasti havaitaan, että hukan minimointia täytyy tehdä myös niille toiminnoille, jotka eivät ole välttämättä oman talon sisäisiä, jotta virtausta voidaan parantaa. Esimerkiksi toimittajien kanssa täytyy lähteä yhteistyössä kehittämään toimitusketjua, jotta ketjun hukkaa voidaan vähentää koko toimitusketjun matkalta. Muuten päädytään osaoptimoimaan vain sitä osaa toimitusketjusta, joka sijaitsee omien seinien sisäpuolella. Keskittyminen pelkästään omiin prosesseihin ei vähennä hukkaa koko toimitusketjusta ja nopeasti havaitaan, että jos halutaan kehittää omaa toimintaa pidemmälle, se ei onnistu ilman, että lean-periaatteita sovelletaan myös toimittajan prosesseihin.

3.6.6 Hukan vähentäminen

TPS-talon sisällä on ihmisten ja yhteistyön lisäksi hukan vähentäminen, kuva 9. Hukan vähentämistä edesauttaa JIT ja Jidokan käyttöönotto, toisaalta JIT tai Jidokaa on

hankala ottaa käyttöön mikäli prosessissa olevaa hukkaa ei ole vähennetty, eli lean-talon kaikki osa-alueet riippuvat toisistaan. Hukan vähentämisessä on muutamia keskeisiä periaatteita. Näitä ovat genchi genbutsu, ongelmien juuri syyn selvittäminen, hukan tunnistaminen ja ennen kaikkea ongelman ratkaisu[24 s.]. Genchi genbutsu tarkoittaa todellista paikkaa ja todellista osaa. Periaate on, että mennään katsomaan todellista prosessia sen oikeaan toimintaympäristöön ja tarkoitus on oppia tuntemaan todellinen tilanne suoran havainnoinnin perusteella. Eli ongelma tilanteissa ei luoda vastaavia testiolosuhteita vaan mennään tarkastelemaan ongelman esiintymispaikalle, mitä todellisuudessa tapahtuu[37]. lean-ajattelun mukaan ongelmia ei voi ratkaista, jos ei ole käynyt ongelman aiheuttajan luona, havainnoimassa, järjestelmällisesti analysoimassa ongelman syitä ja seurauksia. Tällä kaikella tähdätään siihen, että ongelman ratkaisijalle muodostuisi syvälinen ymmärrys koko ongelmasta, jotta hän pystyy ratkaisemaan todellisen ongelman eikä vain hoida ongelman aiheuttamia oireita. Ongelman ratkaisijan tulee aina löytää ongelman aiheuttava juurisyy.

Hukan vähentämisen työkalut

5S

Ehkä kaikkein tunnetuin hukan vähentämistyökalu, joka on levinnyt paljon laajemmalle kuin lean-tuotanto on 5S. 5S:ssä lähdetään siitä, että ensin työpisteestä siivotaan kaikki ylimääräinen, mikä ei ole välttämätöntä työn tekemisen kannalta, eli työpisteeseen kertynyt hukka poistetaan. Ylimääräinen tavara, jota kertyy jatkuvasti lisää ellei sitä siivota välillä. Tämä hukka työpisteessä edesauttaa laatuvirheiden syntymistä, väriin työskentelytapojen käyttöä ja työtaturmia. Kun siivous on tehty täytyy siisteyden ja järjestelmän säännöistä tehdä visuaalisia, jotta kaikki näkevät heti, jos näistä yhteisesti sovitusta säännöistä poiketaan. Kuten muissakin lean-tuotannon työkaluissa 5S:ssä korostuu visuaalisuus. Kaikista toimintatavoista pyritään tekemään läpinäkyviä ja niiden perustana olevista säännöistä niin näkyviä, että jokainen ohikulkija heti huomaa, jos tästä yhteisesti sovitusta toimintatavasta poiketaan. Lean-tuotannossa pyritään edistämään läpinäkyvyyden kulttuuria, missä mitään ongelmia ei piilotella, vaan ne tuodaan esiin ja niihin puututaan välittömästi.

5S on nimensä mukaisesti viisivaiheinen ja jokaisen vaiheen nimi alkaa S:llä Japanin kielessä. Nämä viisi vaihetta ovat seiri, seiton, sieso, seiketsu ja shitsuke, vapaasti käännettynä nämä tarkoittavat lajittele, järjestä, puhdista, standardointi ja ylläpidä.[38]

Lajittelemisella tarkoitetaan sitä, että työpisteen kaikki tavarat käydään läpi säännöllisesti ja samalla kaikki rikkoutuneet, vialliset ja muuten tarpeettomat tavarat poistetaan työpisteestä. Työpisteestä poistetaan kaikki mitä siinä pisteessä tarvittavaan työskentelyyn ei tarvita. [38]

Järjestämisellä tarkoitetaan sitä, että jäljelle jääneille tavaroille jokaiselle määrätään paikka ja kaikkien tavaroiden tulee pysyä näillä paikoilla. Tärkeää on, että kaikelle on merkitty paikka, jotta 5S ylläpitäminen helpottuu ja poikkeamat havaitaan heti. [38]

Puhdistus tarkoittaa vain työpisteen päivittäistä siivousta, mutta sillä on myös tärkeä tehtävä. Puhdistus toimii eräänlaisena tarkastuksena, että tavarat ovat oikeilla paikoilla ja paljastaa mahdollisesti tuotantolaitteiden tai työkalujen vikaantumisen ensimmäiset. Toistuvalla huolellisella siivouksella voidaan ehkäistä laatuvirheiden syntymistä tai ehkäistä tuotantolaitteiden hajoamista. [38]

Standardoinnissa otetaan käyttöön joka paikassa parhaiksi havaitut työmenetelmät ja kehitetään työmenetelmiä niin että edelliset kolme S:tä tulee yllä pidetyksi. [38]

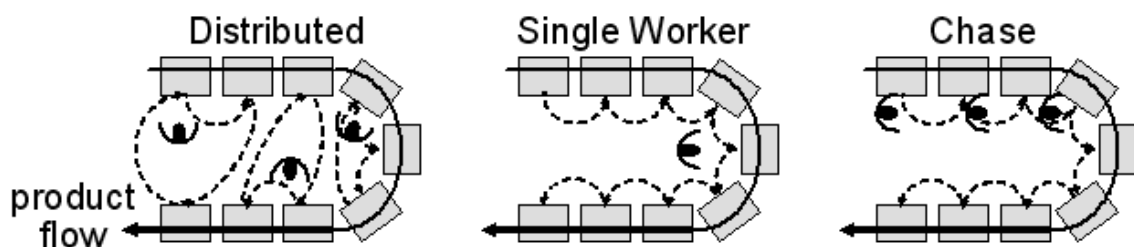
Ylläpidolla varmistetaan, että kaikkia edellisiä vaiheita noudatetaan. Yleensä seuranta toteutetaan säännöllisillä 5S auditoinneilla. [38]

3.7 Tuotantosolu

Toyota käyttää alikokoonpanojen tekemiseen niin sanottuja U-soluja[29]. U-solu on lean-tuotannossa käytetty erikoistapaus solutuotannosta. Normaalissa solutuotannossa tuotantolaitteet, joita tarvitaan tietyn tuotteen tai tuoteperheen valmistukseen kerätään lähelle toisiaan. U-solu kuitenkin vie solutuotannon pidemmälle toteuttamalla tuotantosolun, joka noudattaa lean-periaatteita. Voidaan sanoa, että TPS-talon periaatteet toteutuvat tuotantosolussa.

3.7.1 Lean-periaatteiden toteutuminen solussa

Prosessivaiheiden kytkemisellä toisiinsa ja niiden välisen etäisyyden minimoinnissa pyritään siihen, että yhdenkappaleen virtaus toteutuu U-solussa, kun tuotteet kulkee U-kaarella olevien valmistusvaiheiden läpi yksi kerrallaan, katso kuvaa 11. U-muotoisella tuotantosolulla on se etu, että tuotteen valmistuksen aloitus ja lopetus ovat lähellä toisiaan. Tuotantolinjassa joudutaan palaamaan koko linjanmitta takaisin, jotta voidaan aloittaa uuden tuotteen tekeminen.



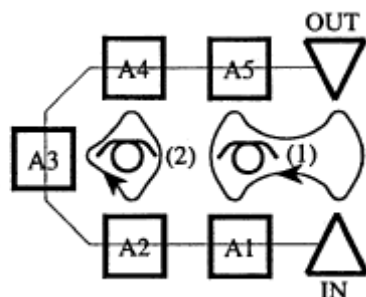
Kuva 11. Kuva U-solusta yleensä ja eri työskentely muodoista solussa (takaa-ajo muoto ja jaettu kierros)[40].

Prosessivaiheet on järjestetty yleensä vastapäivään U-soluun. Tämä siksi, että suuri osa ihmisistä on oikeakätisiä ja pääsääntöisesti tuotantolaitteet on suunniteltu oikeakätisille sopiviksi. Tuotantolaitteen purkaminen on yleensä helpompaa kuin sen lataaminen, jolloin vastapäivään kuljettaessa tuotantolaitte on helppo purkaa vasemmalla kädellä ja ladata oikealla[29].

Yhdenkappaleen virtaus

Tuotantolaitteet on liitetty toisiinsa tiiviisti, jotta yksi työntekijä pystyy tekemään U-solun kaikki työvaiheet alusta loppuun yksin. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että U-solussa työskentelevien työntekijöiden on työskenneltävä seisaaltaan, jotta he voivat siirtyä työpisteeltä seuraavaan. Jokaisessa prosessivaiheessa työntekijän tulisi noudattaa periaatetta tee yksi - tarkasta se - siirrä se eteenpäin (eng. Make One- Check One - Move One On, MO-CO-MOO)[29]. Tällä periaatteella varmistetaan jidokan toteutuminen joka työvaiheessa, kun operaattori tarkastaa jokaisen prosessivaiheen työlajin spesifikaatiota vastaan ja spesifikaatiot täyttävät tuotteet jatkavat seuraavaan prosessivaiheeseen. Katso kuva 12. Tätä sykliä toistamalla U-solusta syntyy joka

kierroksella aina yksi valmistuote tai komponentti, eli U-solun sisällä yhdenkappaleen virtaus toimii ideaalisesti.



Kuva 12. Yhdenkappaleen virtaus tuotantosolussa. Kappale kulkee jokaisen prosessivaiheen läpi solussa. Molemmilla operaattoreilla on solussa yksi tuote työnalla aina kerrallaan.[39]

Mikäli kapasiteettitarve kasvaa merkittävästi voidaan U-solun sisälle lisätä toinen työntekijä. Työtehtävien jakamista U-solun sisällä kutsutaan solun tasoitukseksi. Jos työntekijöiden työkuormaa ei ole tasattu, joutuu toinen odottamaan toista, jokaisen tuotteen kohdalla. Työtehtävät solun sisällä voidaan jakaa usealla eritavalla, kuten kuvasta 11 nähdään. Molemmat työntekijät voivat tehdä oman kierroksensa solun sisällä, samalla tavalla kuin työskennellessä yksin solun sisällä. Tätä työtehtävien jakamismuotoa kutsutaan takaa-ajo muodoksi (eng. chase mode). Useammin käytetty tasoitusmenetelmä on jakaa työtehtävät työpisteittäin niin, että ensimmäinen työntekijä hoitaa U-solun alkua- ja loppupään työvaiheet ja toinen hoitaa kaikki muut työvaiheet, jotka ovat siinä välissä. Tätä tasoitusmenetelmää kutsutaan hajautetuksi muodoksi (eng. distributed mode) ja se on esitetty kuvassa 12. Kun yksi ja sama työntekijä aloittaa työn ja lopettaa sen, pysyy solussa työnalla olevien tuotteiden määrä aina samana.[39].

U-solun toiminnan kannalta on kriittistä, että kaikki tuotantolaitteet, joita tarvitaan tuotteen valmistukseen tuodaan soluun ja ne integroidaan osaksi U-solua. Tuotantolaitteiden tulisi olla sellaisia, että ne noudattavat Jidoka-periaatetta. Niiden ei tulisi vaatia muita toimenpiteitä, kuin laitteen purkamisen, lataamisen ja käynnistyskseen. Solu toimii kaikkein tehokkaimmin, jos jokaista solussa olevaa tuotantolaitetta pystytään käyttämään yhdellä tuotteella kerrallaan. Kun työntekijä tulee työpisteelle, jossa on tuotantolaitte, hän korvaa tuotantolaitteessa olevan tuotteen uudella tuotteella, joka tulee työntekijän mukana edellisestä prosessivaiheesta, ja käynnistää tuotantolaitteen. Kun tuotantolaitte on käynnissä, työntekijä ottaa tuotantolaitteesta poistetun tuotteen mukaansa ja jatkaa seuraavaan U-solun prosessivaiheeseen.

Tämä kuitenkin edellyttää, että työntekijät, jotka työskentelevät solussa, hallitsevat kaikki työvaiheet joita solussa on. Tätä ajattelua voidaan viedä vielä pidemmälle, sillä jos tehtaassa on useampia soluja ja ne ovat eri tuotteille tai tuoteperheille niin, työntekijöitä tulisi opettaa työskentelemään tehtaalla useammissa soluissa. Siinä vaiheessa, kun joidenkin tuotteiden kysyntä vaihtelee voimakkaasti, niin niiden tuotteiden tuotantosolujen työntekijöitä voidaan käyttää apuna toisten tuotteiden tuotantosoluissa. Kouluttamalla moniosaavia työntekijöitä, yritys saavuttaa joustoja tuotannossa.

U-solujen toiminnan kannalta on ensiarvoisen tärkeää, että kaikki työskentelevät solussa samalla tavalla. Linjan tasoitus toimii optimaalisesti vain silloin, kun työvaiheet tehdään samalla tavalla, käyttäen yhteisesti kehitettyjä työkaluja ja kokoonpanojärjestystä.

Standardilla määritellään, miten solussa työskennellään. Standardissa määritetään se, miten solu toimii osana koko tuotantoketjua tahtiajan mukaan. Lisäksi standardi määrittää, miten solun sisäinen toimita on järjestetty.

Kun käytetään U-soluja tuotannossa, niin jokaisella tuoteperheellä tai tuotteella on oma solunsa. Tämä johtaa siihen, että tuotantolaitteita tarvitaan useampia kappaleita. Toisaalta vaikka laitteita tarvitaan enemmän ei lean-tuotannossa käytettävien laitteiden tarvitse olla äärettömän nopeita. Koska tuoteperheet on jaettu tuotantosoluihin niin laitteiden ei täydy tehdä niin suuria määriä kerralla. Tästä syystä U-soluja hyödyntävässä tuotannossa tulisi käyttää standardoituja, pieniä ja halpoja laitteita, joiden asetusajat tuotteenvaihdon yhteydessä on hyvin pieniä. Tällöin joka soluun voidaan hankkia laite ja standardilaitteiden huolto on myös yksinkertaisempaa. Asetusajat ovat muutenkin tärkeitä soluja suunniteltaessa, sillä mikäli jonkin tuotteen tuotantolaitteilla on pitkät asetusajat tehdään sille oma. Jos tuotteiden tekemiseen tarvittavien tuotantolaitteiden asetusajat on pieniä voidaan tehdä tuotantosoluja, jossa jokainen sen läpi kulkeva tuote on erilainen. [39]

Virtauksen toteutumisesta solun sisällä edesautetaan poistamalla työvaiheista hukka, eli U-solun työpisteitä kehitetään jatkuvasti. Lisäksi kiinnitetään huomiota työvaiheiden tekemisen helpottamiseen. Laadun rakentaminen tuotteeseen on erityisen tärkeää, kun noudatetaan MO-CO-MOO periaatetta. Jotta kappaleiden tarkastaminen olisi helppoa ja nopeaa tulee tuotantolaitteisiin ja työpisteisiin kehittää virheen estimiä, joiden avulla tuotteen laatu voidaan tarkastaa heti tai parhaimmillaan jo työvaiheen aikana.

Tahtiajan suhde jaksonaikaan, koneaikaan ja asiakastahtiin

Lean-tuotannossa kaikki tuotantoketjun vaiheet toimivat synkronoidusti tahtiajan kanssa. U-solut eivät ole poikkeus tässä suhteessa. U-solua suunniteltaessa tulee ottaa huomioon se, että soluun tulevien koneiden koneaika (eng. Machine time, MT) ei ole suurempi kuin tahtiaika. Jokaisen tuotantolaitteen käyttöön kuuluu kahta erityyppistä työtä. Ensimmäinen tyyppi on työntekijän tekemä manuaalinen työ ja toinen on koneaika. Koneaika käsittää koneen itsenäiseen työhön kuluvan ajan.

Työntekijän tekemää työaikaa solussa kutsutaan jaksonajaksi (eng. cycle time, CT). Jaksonaika kertoo solussa toteutuneen työajan valmistunutta kappaletta kohden. Jaksonajan on oltava pienempi kuin tahtiajan, jotta solu tyydyttäisi asiakastarpeen. U-solun jaksonajassa tulisi olla hieman pelivaraa kolmesta syystä[39]. Ensimmäinen syy on se, että mikäli solu jää jälkeen tuotantotavoitteestaan, niin sen on helppo kiertää tämä jättämä kiinni nopeasti. Toinen syy on se, että tuotantolaitteiden säännöllisten ennakko- huoltojen varalle pitäisi varata aikaa ja kolmas syy on se, että solussa työskenteleville tulisi varata aikaa solun kehittämiseen ja ongelmien ratkaisemiseen.

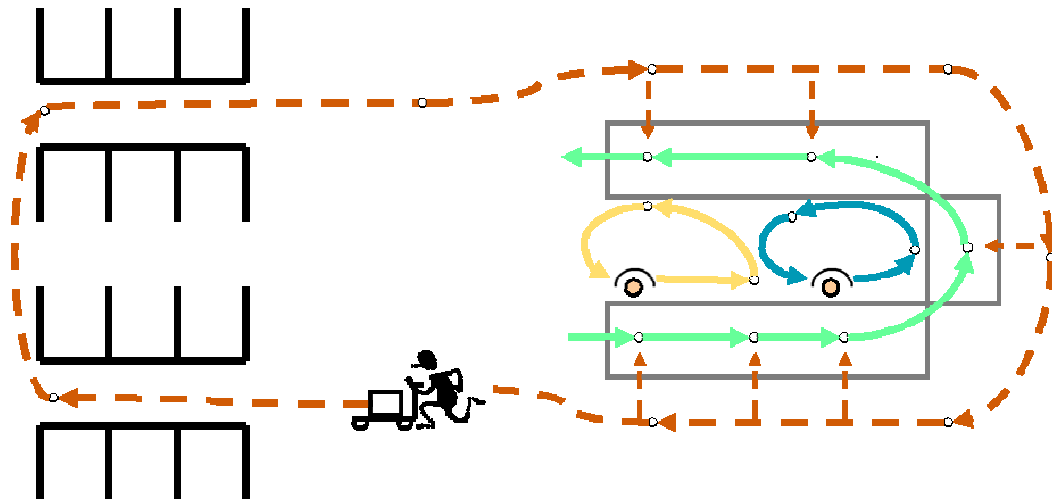
U-soluun voidaan lisätä työntekijä, koska solun koneaika ja työntekijän tekemä työ on erotettu toisistaan. Kun soluun lisätään toinen työntekijä solun jaksonaika karkeasti puolittuu. Kirjallisuudessa on esitetty[29][39][40], että jos solun jaksonaika on aina yhdellä työntekijällä mitattu jaksonaika jaettuna solussa työskentelevien työntekijöiden määrällä. Käytännössä tämä ei toteudu aina näin suoraviivaisesti. Kun solussa on kaksi työntekijää, jaksonaika lähes puolittuu. Tämä johtuu siitä, että tuotteen vaihdosta solun sisällä työntekijältä toiselle aiheutuu kuitenkin aina hukkaa. Kun solun jaksonaikaa pienennetään lisäämällä työntekijöiden määrää, on huolehdittava siitä, että solun jaksonaika on edelleen suurempi kuin solussa olevien tuotantolaitteiden koneaika.

Solun läpimenoajalla (eng. ThroughPut Time, TPT) tarkoitetaan sitä aikaa, jonka tuote on solussa. TPT:n lasketaan mukaan kaikki vaiheet joiden läpi tuote kulkee. U-solussa

jaksonaika riippui ainoastaan operaattorien määrästä solussa, manuaalisesta työajasta ja operaattorien solun sisällä kävelemiseen kuluttamasta ajasta. TPT ottaa huomioon kuinka monta jaksonajan moninkertaa kestää ennen kuin tuote on kulkenut kaikkien työvaiheiden läpi solussa. TPT:n vaikuttaa oleellisesti se, miten monta tuotantolaitetta solussa on. Vaikka solussa operaattori työstää yhtä kappaletta kerralla on jokaisessa tuotantolaitteessa tuote.[29]

Virtaus solussa ja materiaalien tuonti

Kokoonpanon ja materiaalin käsittely erottaminen toisistaan on tärkeä elementti tuotantosolun toimintaa. Tämä toteutetaan siten, että tuotteita valmistavat työntekijät tekevät laitteita solun sisällä ja heille tuodaan materiaalit valmiiksi. Jokaiseen työpisteeseen tuodaan oikeat komponentit aina silloin, kun niitä siinä työpisteessä tarvitaan. Materiaalin täydennys tapahtuu U-solun ulkopuolelta, katso kuva 13. Kuvan 13 esimerkissä valintamyymälähyllystä tarvittavat materiaalit tuodaan työpisteisiin, joko kanban-ohjatusti tai tilausohjautuvasti.



Kuva 13. Kokoonpanotyön ja materiaalinkäsittelyn erottaminen U-solussa. Kokoonpanijat solun sisällä ja materiaalin täydennys ulkopuolelta.

U-solun työpisteet on rakennettu siten, että niissä on FIFO-jonot tarvittavalle materiaalille ja FIFO-jonot on täytetty kokoonpanojärjestyksessä, eli solun sisällä laitteita kokoonpanevalle työntekijälle on aina edessään ne komponentit, jotka kuuluvat sillä hetkellä työnalla olevaan tuotteeseen. Materiaalinkäsittely on erotettu kokoonpanotyöstä, jotta voidaan erottaa hukka arvoa tuottavasta työstä. Materiaalinkäsittelyn ja kokoonpanon erottamisella tähdätään siihen, että kokoonpanija keskittyy asiakkaalle arvoa tuottavaan työhön, eli tuotteiden tekemiseen, eikä hän joudu hakemaan ja etsimään tuotteeseen tulevia osia.

4 Tutkimusaineisto ja -menetelmät

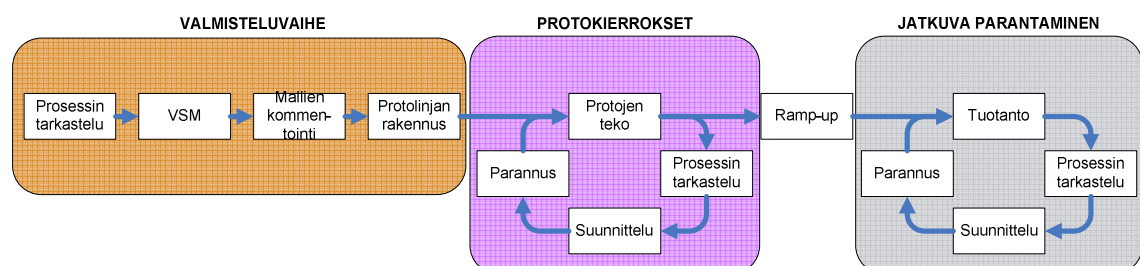
Tässä työssä kokeellisen osion esimerkkitapauksena on elektroniikkateollisuudessa toimivan yrityksen uuden tuotteen tuotantoprosessin suunnittelu. Tässä yrityksessä on perinteisesti valmistettu tuotteita massatuotannonmenetelmin. Yrityksessä on kuitenkin aloitettu tuotannon kehittäminen lean-periaatteiden mukaan. Samalla esimerkkitapauksen yrityksessä on havaittu, että mikäli tuotannossa halutaan toteuttaa lean-periaatteita mahdollisimman tehokkaasti, on pystyttävä vaikuttamaan tuotteeseen jo sen suunnitteluvaiheessa. Tämän takia yrityksessä on laadittu DFA-prosessi.

4.1 DFA-prosessi

Yrityksessä uuden tuotteen tuotannon ja kokoonpantavuuden suunnittelu ja toteutus tehdään DFA-prosessin mukaisesti. DFA-prosessi on kuvattu kuvassa 14. Nykytilannetta voidaan käyttää esimerkkinä uuden tuotteen tuotantoa suunniteltaessa. Lisäksi uuden tuotteen kokoonpanoa voidaan DFA-prosessin eri vaiheissa verrata vanhaan tuotteeseen.

Tuotannon rooli tuotekehitysprojektissa on olla mukana tuotteen suunnittelussa ja saman aikaisesti suunnitella tuotteen tuotanto, yhdessä tuotekehitysprojektin kanssa. Käytännössä tämä toimii siten, että tuotekehitysprojektilla on aliprojektina tuotannonsuunnitteluprojekti suunniteltavalle tuotteelle ja se toteutetaan tuotteen suunnittelun aikana. Kaikkein tärkeintä koko tuotekehitysprojektin kannalta on, että niin tuotteen suunnittelussa kuin valmistusprosessin suunnittelussa ja toteutuksessa on mukana ihmisiä kaikista eri funktioista yrityksessä. Tällä varmistetaan se, että kaikkien osapuolten osaaminen on käytössä ongelmia ratkaistaessa. Lisäksi, kun kaikkien osapuolten edustaja on mukana jo tuotekehitysprojektin alkuvaiheessa, tulee myös kaikkien tuotekehitysprojektin sisäisten asiakkaiden tarpeet otettua huomioon jo projektin alussa.

4.1.1 Prosessin kuvaus



Kuva 14. Lohkokaavio esitys yrityksen DFA-prosessista. Prosessi koostuu kolmesta osasta valmisteluvaiheesta, protokierroksista ja jatkuvasta parantamisesta.

DFA-prosessi tuottaa toimivan tuotantoprosessin. Tämä tuotantoprosessi on ylösajettu täysimittaiseen tuotantoon ja kaikki ongelmat jotka liittyvät tuotannon ylösajoon on

ratkaistu jo DFA-prosessin aikana. DFA-prosessissa uudelle tuotteelle on suunniteltu kaikki tuotantovaiheet, sopivat työvaiheet on yhdistetty tuotantosoluiksi, tuotantosolut on yhdistetty toisiinsa, tuotantosolun tavaralogistiikka suunniteltu ja se on käytössä, tavaralogistiikka supermarketiin on suunniteltu, materiaalin käsittelylaatikot on suunniteltu, tuotteen testaus, informaation kulku on suunniteltu, tuotehallinta tuotteelle suunniteltu, tuotannonohjaukseen on toimiva prosessi, kaikkien komponenttien ostoprosessi on käytössä.

Kuvassa 14 on vuokaavio DFA-prosessista. Tämä prosessi voidaan jakaa kolmeen osaan valmisteluun, protokierroksiin ja jatkuvaan parantamiseen. Yrityksessä tuotekehitysprojektin tuotannon osuus aloitetaan tarkastelemalla nykyisen tuotteen tai mahdollisimman lähellä nykyistä tuotetta olevan tuotteen tuotantoa. Tuotantoa tarkastellaan tekemällä jo olemassa olevalle tuotteelle prosessin tarkastelu (eng. process observation), jossa jokaista prosessivaihetta tarkastellaan erikseen, samalla sen eri työvaiheiden kesto mitataan ja kirjataan ylös miten työntekijä liikkuu työvaiheesta toiseen sekä kirjataan ylös mahdollisia parannuskohteita ja -ehdotuksia.

Olemassa olevan tuotteenvalmistusprosessin tarkastelu on tärkeää, koska nyt voidaan hyödyntää kaikki se tieto, joka on kertynyt nykyisen tuotteen tuotannossa ja välttää samat virheet, joita on tehty aikaisemman tuotteen kohdalla. Lisäksi tässä vaiheessa uuden tuotteen kehitystä on hyvä ottaa huomioon, mitkä seikat nykytuotteen suunnittelussa ovat ongelmia tuotannossa. Näitä ongelmia tulee tarkastella niin kokoonpantavuuden kuin tuotteen virtauksen kannalta. Tässä vaiheessa tulee myös huomioida nykyisen tuotteen laatuongelmien syyt ja näistä syistä tulee eritellä ne mitkä johtuvat tuotteen suunnittelusta ja mitkä ovat tuotteen tuotantoprosessista johtuvia laatuongelmia. Yrityksen tavassa tarkastella nykytuotteen tuotantoprosessia on ensiarvoisen tärkeää noudattaa genchi genbutsu -periaatetta ja mennä paikan päälle katsomaan, mitä tehtaan lattialla todellisuudessa tapahtuu.

Tämän jälkeen kun ollaan alustavasti tutustuttu nykyisen tuotteen tuotantoprosessiin tehdään arvovirtakartta nykyiselle tuotteelle. Yrityksessä VSM tehdään intensiiviryhmätyönä, jonka aikana kaikki osallistujat käyttävät kaiken työaikansa VSM:n tekemiseen. VSM:n tekoon osallistuvien tulisi olla jokaiselta eri osa-alueelta, jotka osallistuvat myös tuotekehitysprojektiin. Osallistujia tulisi olla esimerkiksi tuotannosta, tuotekehityksestä, logistiikasta, tuotannonsuunnittelusta, ostosta ja myynnistä. Kun osallistujia on mukana kaikilta osa-alueilta, joiden työhön tuotteen valmistusprosessi vaikuttaa, selviää miten heidän oma panoksensa vaikuttaa lopullisen tuotteen valmistusprosessiin ja samalla syntyy alustava käsitys siitä miten nämä esille tulleet seikat tulisi ottaa tuotteen suunnittelussa huomioon.

Kun nykytila on kartoitettu, siirrytään uuden tuotteen valmistusprosessin suunnitteluun. Tässä vaiheessa nykytilan VSM käytetään apuna ja pyritään miettimään, miten kaikki uuden tuotteen valmistukseen tarvittavat prosessivaiheet kytketään toisiinsa mahdollisimman hyvin, niin että tuotannossa tuotteet voivat virrata läpi koko tuotantoprosessin yhdenkappaleen virtauksena. Aina tämä ei ole mahdollista ja siksi on tärkeää, että tuotantoprosessi suunnitellaan kokonaisuutena ja että eri prosessivaiheiden valinnassa huomioidaan niiden aiheuttaman rajoitteet. Toisaalta, kun koko tuotantoprosessi suunnitellaan kokonaisuutena uudelle tuotteelle saadaan selville, mitkä ovat kriittiset prosessivaiheet uuden tuotteen tuotannossa. Koska koko kokonaisuus on suunniteltu toimimaan asiakastahdin mukaan, saadaan uudelle tuotteelle tehtävästä VSM:stä määritettyä myös vaatimukset jokaiselle prosessivaiheelle.

Seuraava vaihe DFA-prosessissa on mallien kommentointi. Tämä tapahtuu siinä vaiheessa kun tuotekehitys on suunnitellut tuotteen niin pitkälle, että siitä on olemassa 3D-malleja. Malleja arvioidaan tuotekehityksen ja tuotannon edustajien yhteistyössä. Tässä vaiheessa malleja on useammasta kilpailevasta ehdokkaasta, joita jokaista arvioidaan niiden kokoonpantavuuden ja valmistettavuuden kannalta. Muutoksia on vielä tässä vaiheessa helppo tehdä ja palaute tuotteen suunnittelun aikaisessa vaiheessa on tärkeää. Usein 3D-malleja saadaan ensimmäiseksi yksittäisistä komponenteista, joita arvioidaan. Seuraavalla arviointikierroksella on olemassa jo useampien komponenttien muodostamia kokonaisuuksia.

Kun tuotteen suunnittelussa on päästy pidemmälle voidaan 3D-mallien pohjalta muodostaa pikamalleja. Pikamallien perusteella on huomattavasti helpompi arvioida tuotteen kokoonpantavuutta. Tässä vaiheessa käytetään erilaisia työkaluja tuotteen kokoonpantavuuden arviointiin, kuten esimerkiksi tarkistuslistoja ja FMEA:ta. Tässä vaiheessa on jo valittu yksi ainoa tuotekonsepti jota arvioidaan. On erittäin tärkeää, että tuotekehitys ja tuotanto tekee yhteistyötä, sillä tässä vaiheessa tehdään kaikkein kriittisimmät päätökset, jotka vaikuttavat tuotteen kokoonpantavuuteen.

Kuvan 14 mukaisesti seuraava vaihe on prototyyppilinjan rakentaminen. Yrityksen DFA-prosessin tässä vaiheessa rakennetaan ensimmäinen versio tuotantosolusta. Ensimmäinen versio pyritään rakentamaan mahdollisimman aikaisessa vaiheessa, jotta sen avulla päästään tekemään kaikki prototyyppituotteet, joita tuotekehitysprojekti tarvitsee omiin testeihinsä. Tällä tavalla saadaan harjoiteltua uuden tuotteen valmistusta tuotannossa jo hyvin aikaisessa vaiheessa. Lisäksi saadaan kerättyä tärkeää tietoa tuotteen kokoonpantavuudesta ja suunnitteluun liittyvistä mahdollisista ongelmista.

Protolinja rakennetaan neljä päivää kestävässä intensiiviparannusjaksossa, eli kaizenissa. Kaizenin osallistujat ovat samalla tavalla kuin VSM:ssä, kaikilta osalualueilta, jotka ovat osallisia tuotekehitysprojektissa. Tarkoituksena on, että tämän neljän päivän aikana rakennetaan toimiva tuotantosolu uudelle tuotteelle. Jos tuotteen VSM:n on päädytty siihen, että tuotteelle tarvitaan valintamyymälähylly, toteutetaan se samalla kun tuotantosolu rakennetaan. Prototuotantolinjan rakennukseen varattu aika on tarkoituksella hyvin lyhyt.

Protolinjan rakentaminen alkaa sillä, että kerrataan lean-tuotannon perusteet läpi lyhyesti. Tämän jälkeen alkaa varsinainen tuotantosolun rakentaminen. VSM on uuden tuotteen tuotannon pohjapiirros ja sen mukaan ryhdytään rakentamaan uuden tuotteen valmistuksen kaikkia eri prosessivaiheita. VSM myös määrittää, miten uuden tuotteen koko tuotantoprosessi on jaettu sopivan kokoihin tuotantosoluihin. Tämä voi tarkoittaa sitä, että kaikki prosessivaiheet on koottu tehtäväksi samaa tuotantosoluun ja tuote kulkee solun läpi yhdenkappaleenvirtauksena. Usein kuitenkin tuotteen valmistusprosessissa on joitain prosessivaiheita, joita ei voida kytkeä toisiinsa suoraan ja tällöin tuotteen valmistusprosessi joudutaan jakamaan. Yleensä tämä jako tehdään loppukokoonpanosoluun ja erinäiseen määrään alikokoonpanosoluja, jotka toimittavat komponentteja imuohjautuvasti loppukokoonpanosoluun.

Seuraavaksi kerätään tuotteen tai tuotteiden kaikki komponentit. Kun kaikki komponentit on kerätty, ne levitetään pöydälle VSM:n mukaiseen alustavaan kokoonpanojärjestykseen. Tämän jälkeen ryhdytään tarkastelemaan kokoonpanojärjestystä tarkemmin. Käytännössä, jokaista kokoonpanovaihetta tarkastellaan edellä mainittujen kahdeksan hukan näkökulmasta ja mikäli jotain hukan tyyppiä havaitaan, pyritään kokoonpanojärjestystä muuttamaan siten että tästä hukasta päästään eroon. Tämän jälkeen varmistetaan, että kokoonpanojärjestys tukee

yhdenkappaleen virtausta ja että työvaiheet on kytketty toisiinsa niin että jokaisessa työvaiheessa tuotteen arvo kasvaa asiakkaan kannalta. Kun komponentit on kerätty pöydälle nähdään alustavasti, mikä on järkevin tapa tuoda komponentit työvaiheeseen.

Kun komponentit on asetettu oikeaan kokoonpanojärjestykseen, otetaan tarvittavat työkalut mukaan yhtälöön. Työkalut asetellaan niille paikoille, missä niitä kokoonpanojärjestyksen mukaan käytetään. Mikäli tarvittavat työkalut ovat suuria tai hankalasti siirrettäviä, voidaan niille rakentaa pahvista mallikappaleet, joita käytetään oikeiden tuotantolaitteiden sijasta. Yrityksen DFA-prosessissa pyritään kuitenkin aina siihen, että käytetään oikeita työkaluja jo tässä vaiheessa. Tällä saavutetaan se etu, että tuotantosolu tullaan tällöin suunnittelemaan tuotteen komponenttien ja tarvittavien työkalujen ympärille, jotta ne yhdessä voivat muodostaa kokonaisuuden, jossa virtaus toteutuu eri kokoonpanovaiheiden välillä. Kun työkalut on aseteltu oikeille paikoille tarkastetaan vielä, että kokoonpanojärjestys on paras mahdollinen. Kun tämä on tehty jaetaan kokoonpanovaiheet työpisteisiin, eli työpisteessä tehdään useampia työvaiheita. Tässä vaiheessa täytyy vielä tarkistaa, että kaikki työpisteisiin allokoituvat työvaiheet on toteutettavissa siinä työpisteessä.

Kun kokoonpanojärjestys ja työpistejako on tehty, tehdään näiden pohjalta ensimmäinen prototyyppi tuotantosolusta. Kun tehdään ensimmäinen prototyyppi on tärkeää, että sitä päästään kokeilemaan mahdollisimman nopeasti. Tämän takia tuotantosolun ensimmäinen prototyyppi rakennetaan noin puolessa päivässä ja se tehdään pahvista, kuormalavoista, kaikesta mahdollisesta materiaalista, mitä on helppo ja nopea muokata. Tärkeintä on kokeilla kaikkia mahdollisia apukeinoja ja rakenteellisia ratkaisuja, jotka helpottavat virtauksen toteutumista. Lisäksi työpisteiden suunnittelussa tulee kiinnittää erityistä huomiota siihen, miten tuote kulkee työpisteen läpi, missä ja miten komponentit ovat. Niin sanotun pahvimallin ideana on se, että sitä voidaan muuttaa nopeasti, jos havaitaan, että jokin tietty lähestymistapa ei toimi. Tässä vaiheessa voi vapaasti kokeilla erilaisia lähestymistapoja tuotteen kokoonpanoon, sillä pahvimallin muuttaminen kestää muutamia minuutteja. Tarkoituksena on kuitenkin, että pahvimallilla pystyttäisiin tekemään muutamia kokonaista tuotetta. Nämä tuotteet tehdään, jotta varmistutaan, että nämä kokeelliset työasemat toimivat myös todellisuudessa. Samalla, kun työpisteissä työntekijät kokoonpanevat tuotteen, muut osallistujat suorittavat prosessin tarkastelua. Kun ensimmäinen tuote ja prosessin tarkastelu on tehty korjataan työpisteissä havaitut ongelmat ja toteutetaan parannusehdotukset.

Kun ensimmäisellä prototyyppi tuotantosolulla on tehty muutama tuote, siirrytään seuraavaan vaiheeseen, jossa ns. pahvimallista rakennetaan kopio metalliputkilla. Yrityksessä käytetään metalliputkia ja tuotantosolurakentamiseen tarkoitettuja liittimiä. Niiden avulla on mahdollista rakentaa nopeasti pysyvä ja helposti muunneltava tuotantosolu.

Työpisteet rakennetaan pahvimallinperusteella, mutta niissä pyritään korjaamaan mahdollisesti havaitut ongelmat. Lopuksi kaikki työpisteet yhdistetään tuotantosoluksi. Ensimmäisen prototyyppilinjan rakentamiseen käytetään neljä päivää ja neljännen päivän jälkeen tuotantosolulla pystytään tekemään tuotteita.

Kuten kuvasta 14 nähdään on protolinjan rakennuksen jälkeen aloitetaan tuotteen varsinaisten prototyyppien rakentaminen. DFA-prosessissa on tarkoituksena, että kaikki tuotekehityksen käyttämät prototyypit kokoonpanee tuotanto. Tuotannossa päästään harjoittelemaan tuotteen tekemistä tuotekehitysprojektin aikaisessa vaiheessa. Tässä on se etu, että jos havaitaan ongelmia tuotteen suunnittelussa niihin voidaan puuttua vielä

tässä vaiheessa. Toiseksi, tuotannossa voidaan kehittää tuotantoprosessia eteenpäin ja prosessissa oleviin ongelmiin voidaan puuttua nopeasti.

Seuraava vaihe on jälleen prosessintarkastelu. Tämä tehdään siksi, että kun nyt on päästy tekemään protosarjoja uuden tuotteen tuotantoprosessilla, niin pyritään havaitsemaan prosessin kaikki ongelmat. Jälleen mitataan kaikkien vaiheiden työajat, kerätään parannusehdotukset ja ongelmat ylös ja kirjataan ylös työntekijän liikkeet jokaisessa prosessivaiheessa.

Kun prosessintarkastelu on tehty ja kaikki tarvittava informaatio kerätty talteen, analysoidaan kaikki havaitut parannusehdotukset ja ongelmat sekä mitatut ajat. Seuraavaksi suunnitellaan korjaavat toimenpiteet, millä havaituista ongelmista päästään eroon. Tätä vaihetta DFA -prosessissa kutsutaan suunnitteluvaiheeksi.

Kun suunnitteluvaihe on valmis, toteutetaan suunnitteluvaiheessa määritetyt toimenpiteet mahdollisimman nopeasti uuden tuotteen tuotantoprosessiin. Prototyyppituotteiden tekovaiheessa parannuksia on huomattava määrä ja on tärkeää saada ne toteutetuksi mahdollisimman nopeasti, jotta tuotteen tekeminen saadaan helpoksi. Lisäksi saadaan selville, pystytäänkö ongelma ratkaisemaan tuotantoprosessia muuttamalla vai tarvitseeko tuotteen rakennetta muuttaa. Tätä vaihetta kutsutaan yrityksen DFA-prosessissa parannusvaiheeksi. Tätä sykliä, missä tehdään prototyyppisiä tuotekehitykselle ja parannetaan solua, jatketaan niin kauan kunnes tuote on valmis tuotantoon. Seuraava vaihe on ramp-up-vaihe ja siinä aloitetaan teollinen tuotanto solulla. Kun tuotantoa on pyöritetty ramp-up-vaiheessa jonkin aikaa, tehdään prosessin tarkastelu, suunnittelu ja parannus vaiheet uudestaan. Tätä sykliä toistetaan koko tuotantosolun olemassa olon ajan ja sillä varmistetaan jatkuvan parantamisen toteutuminen solussa.

5 Esimerkkitapaus: DFM tuotteen loppukokoonpano lean-solu

5.1 Koko tuotantoketjun suunnittelu

Yrityksen tuote on menestynyt markkinoilla hyvin, mutta sen valmistettavuudessa on ollut puutteita. Tuotteen valmistusprosessissa on ongelmana se, että suuri osa tuotannon prosessivaiheista on täysin yksilöllisiä. Tämä on ongelma kahdella tavalla, ensinäkin tuotantoprosessit ovat räätälöityjä yrityksen tarkoituksiin ja sen seurauksena monet käytettävistä tuotantolaitteista on hyvin harvinaisia. Lisäksi tilausten läpimenoaika oli erittäin suuri. Tämä johtui siitä, että tuotannossa käytetään massatuotantokalibrointilaitetta.

Kun yrityksessä päätettiin ryhtyä kehittämään uutta tuotetta haluttiin vanhan tuotteen virheistä oppia ja lisäksi uuden tuotteen keskeiseksi teemaksi valittiin valmistettavuus. Koska uuden tuotteen valmistettavuuteen haluttiin erityisesti panostaa, päätettiin projekti aloittaa tekemällä arvovirtakuvaus vanhalle tuotteelle, mutta nyt tuotannon visio VSM edustaa uuden tuotteen tuotantoprosessia. Etuna tässä ratkaisussa on se, että vanhan tuotteen suunnittelu tai tuotantolaitteet eivät rajoita tuotantoprosessin suunnittelua visio VSM:n kohdalla. VSM haluttiin tehdä heti alkuun, jotta kaikki tuotantoon liittyvät asiat tulee huomioitua tuotantoprosessin suunnittelussa ja että uuden tuotteen tuotantoprosessi suunnitellaan kokonaisuutena, jotta vältetään osaoptimoinnilta ja tunnistetaan oikeasti kriittiset prosessivaiheet tuotannossa.

Tässä työssä käsitellään DFM-projektin loppukokoonpanoa ja tarkoituksena oli, että seuraavan askeleen VSM toteutetaan vanhan tuotteen loppukokoonpanolla ja tässä vaiheessa opittuja asioita sovelletaan DFM-projektin loppukokoonpanon suunnittelussa. Erityisesti keskitytään siihen, mitä seikkoja tulee huomioida, kun suunnitellaan uutta tuotetta lean-tuotantoon ja miten DFMA-menetelmiä voidaan käyttää tässä apuna.

U-solua lähdettiin rakentamaan vanhalle tuotteelle, koska oli tarkoitus kokeilla, miten lean-tuotantomenetelmät toimisivat yrityksen tuotannossa. Vanhan tuotteen solun avulla oli tarkoitus kerätä informaatiota ja kokemuksia siitä, miten loppukokoonpano voitaisiin toteuttaa lean-periaatteiden mukaan.

5.1.1 Arvovirran määrittäminen

Tuotteen VSM perusteella havaittiin, että tuotannon läpimenoaika on aivan liian pitkä ja tämä on seurausta siitä, että tuotannossa virtaus ei toteudu. Tuotantoprosessin prosessivaiheet ovat toisistaan erillään ja niiden välinen linkitys on heikko. Tämän seurauksena tuotannossa käytetään lähes jokaisen prosessivaiheen välissä puskuria, tasaamaan ongelmista aiheutuvaa vaihtelua.

VSM:n tekijöiden tavoitteena oli saada selkeä käsitys tuotannon nykytilasta. Toiseksi oli tärkeää muodostaa yhteinen visio kaikkien tahojen kesken, siitä millainen uuden tuotteen tuotantoprosessista tulisi.

Nykytilan VSM:stä havaittiin nopeasti, että nykytilanteessa tuotantoprosessin sisällä oli 55 eri puskuria. Nykytilan VSM esitetty liitteen A kuvassa A2. Puskurit aiheuttivat sen, että yhden tuotteen läpimenoaika on hyvin pitkä. Läpimenoajasta 93% tuote oli varastossa prosessin sisällä. Koko prosessiin kuluvasta ajasta 7% tuote oli työnalla.

Valmistuksessa koneaika vie 91 % prosenttia valmistusajasta. Työntekijöiden tekemä työaika, on nykytilanteessa 9 % tuotteen valmistuksen prosessiajasta. Kuitenkin työntekijöiden työajasta 76 % kuluu työvaiheisiin, jotka määrittellään tuotteen kannalta ei arvoa lisääviksi. VSM:n tekovaiheessa havaittiin, että 27 % tästä ei arvoa lisäävästä työstä oli logistiikka aikaa, eli tavaroiden siirtelyä paikasta toiseen. 20 % ei arvoa lisäävästä työstä kuluu asetusaikeisiin, eli käytännössä tuotantolaitteiden käynnistämisiin ja purkamisiin. Myös tietojen kirjaaminen IT-järjestelmään vie 20 % ei arvoa tuottavasta työajasta. Pelkästään varastojen suuri määrä ja logistiikan viemä suuri aika kertoo sen, että prosessivaiheiden välillä virtaus ei toteudu käytännössä ollenkaan.

VSM nykytilan kartoituksessa tunnistettiin joukko keskeisiä heikkouksia. Koko tuotantoprosessin eri prosessivaiheet, lukuun ottamatta loppukokoonpanoa, toimi suurissa tuotantoerissä. Lisäksi prosessivaiheet toimivat erillään itsenäisinä, niitä ei ole linkitetty toisiinsa. Ylipäätään nykytilankartoituksessa havaittiin, että prosessi- ja käsittelyvaiheita on liikaa koko tuotantoprosessissa. Prosessivaiheet on sijoitettu yhdentyöntekijän työpisteisiin ja työkuormaan näiden työpisteiden välillä ei ole tasoitettu. Suurista puskureista ja prosessivaiheiden keskinäisten linkkien puuttumisesta johtuen, palautteen saaminen toisesta prosessivaiheesta kestää huomattavan kauan. Prosessivaiheiden työvaiheita ei ole standardoitu ja työskentelytavat poikkeavat työntekijöiden välillä.

Logistiikan kannalta havaittiin, että kokoonpanotyötä ja tavaroiden kuljettamista sekä keräilyä ei ollut erotettu toisistaan. Työntekijät etsivät ja hakivat omat komponenttinsa ennen kuin he pääsivät kokoonpanemaan varsinaisen tuotteen. Lisäksi logistiikan ja koko tuotantoprosessin kannalta ongelmallista on, että puskureiden kokoa ei ollut määritetty.

Materiaalivirtauksen havaittiin olevan puutteellinen muun muassa siitä syystä, että prosessivaiheet olivat erillään toisistaan, eli tuotannon prosessivaiheiden sijoittelu oli esteenä virtauksen toteutumiselle. Prosessivaiheiden välillä olevat puskurit eivät olleet imuhjautuvia ja puskureita oli 55 kappaletta koko tuotantoprosessissa. Lisäksi materiaalin käsittely vaati huomattavan paljon käsittelyvaiheita, koska prosessivaiheissa käytettiin niin suurta määrää eri jigejä.

Tuotantoprosessia ei ohjannut tahtiaika, mikä teki yksittäisten ja erillisten prosessivaiheiden ohjaamisesta hankalaa. Tuotannonsuunnittelua ei ollut optimoitu.

Työpisteet olivat erillisiä, lisäksi niissä työkalujen ja materiaalien sijoittelua ei ollut optimoitu. Työpisteiden fyysinen koko oli suuri työvaiheen todelliseen tilantarpeeseen nähden. Lisäksi havaittiin, että nykytilanteessa työpisteiden työkuorman tasoittaminen tuotantolaitteiden tahdin suhteen oli erittäin vaikeaa.

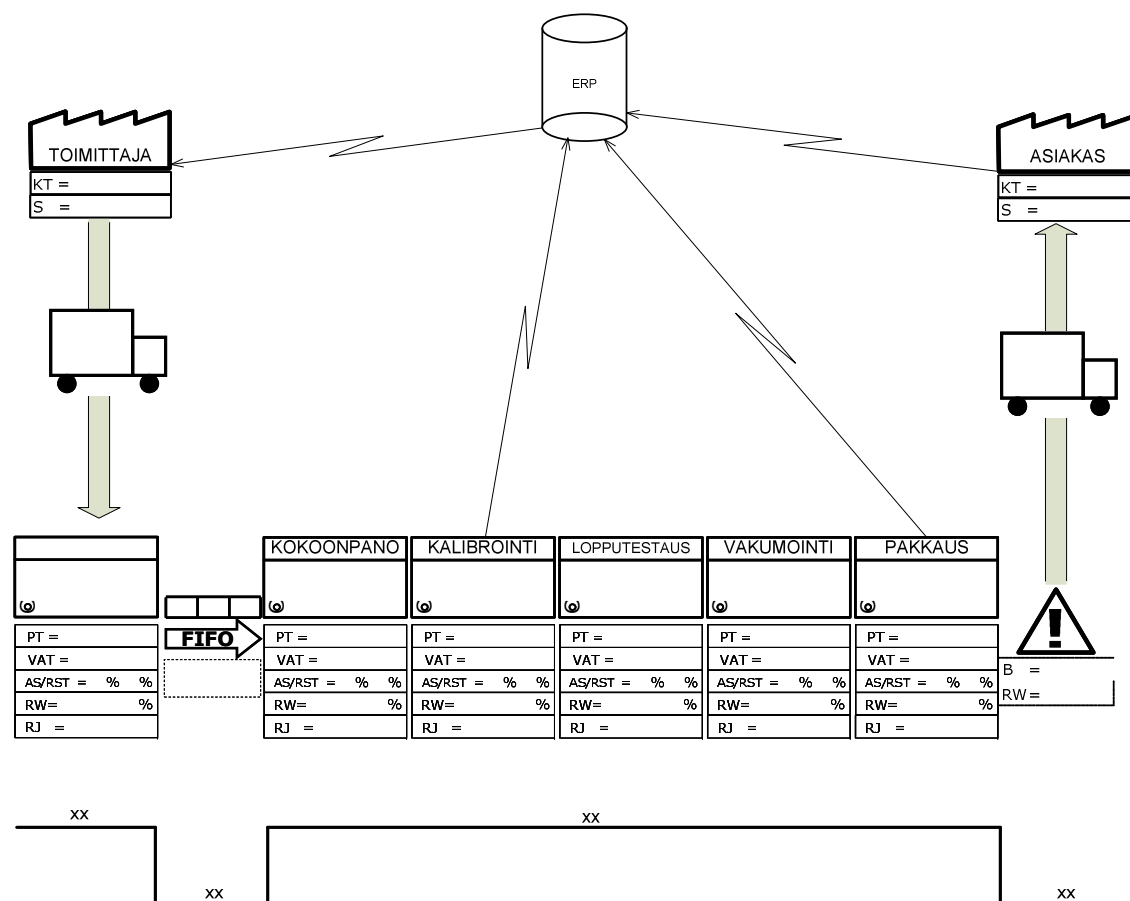
Tuotantoprosessin visuaalisuus oli heikko. Tehtaan lattialla oli hankala havaita, miten tuote etenee eri prosessivaiheiden läpi. Suurelta osin tämä johtui siitä, että puskureita on niin paljon.

5.1.2 Prosessin tulevaisuuden tavoitetilä

Seuraava askel VSM:n teossa nykytilankartoituksen jälkeen oli luoda niin sanottu perimmäinen tavoite (eng. ultimate goal) VSM, josta on poistettu kaikki hukkaa aiheuttavat tekijät. Joissain tapauksissa tätä kutsutaan pohjan tähdeksi, jota kohti pyritään, mutta sitä ei voi saavuttaa. Kun tämä perimmäinen VSM on muodostettu, käytetään sitä pohjana niin sanotulle seuraavan askeleen VSM:lle. Tämä VSM on seuraava askel kohti ultimate goalia. Seuraavassa askeleessa parannetaan nykytilannetta niin, että siitä saadaan konkreettinen toteutettavissa oleva VSM, jota ryhdytään implementoimaan. Kun seuraava askeleen VSM on valmis suunnitellaan visio tulevasta. Visio VSM on seuraava askel kohti perimmäistä tavoite VSM:ää.

Tämän tuotteen tapauksessa tehtiin ratkaisu, että seuraavan askeleen VSM suunniteltiin siten, että se on toteutettavissa nykyisellä tuotteella ja tulevaisuuden visio VSM tulisi olemaan toteutettu uudella tuotteella. Käytännössä tämä tarkoitti sitä, että nykytuotteen tuotantoprosessia kehitetään niin paljon kuin se on mahdollista nykyisellä tuotteella ja tuotantolaitteilla. Visio VSM koskee uutta vasta konseptivaiheessa olevaa DFM-tuotetta. Tämä jako jouduttiin tekemään, koska oltiin päädytty siihen ratkaisuun, että kehitetään uusi tuote. Toiseksi nykyisen tuotteen valmistusprosessissa käytettävät tuotantolaitteet toimivat suurilla eräkooilla.

Perimmäisen tavoitteen VSM



Kuva 15. Perimmäisen tavoitteen VSM. Laatikoilla kuvataan prosessivaiheita, nuolet ovat informaatiota ja kolmiot ovat puskureita.

Perimmäisen tavoitteen VSM tehtiin ensin ja siinä poistettiin kaikki varastot lukuun ottamatta ulos lähtevää tavaraa. Perimmäisen tavoitteen VSM on esitetty kuvassa 15. Tässä VSM:ssä kaikki prosessivaiheet ovat liitetty suoraan toisiinsa ja joka

prosessivaiheessa toteutuu yhdenkappaleenvirtaus. Lisäksi ylimääräiset prosessivaiheet poistettiin ja tavaroiden käsittelyvaiheet minimoitiin. Prosessivaiheiden välinen palaute on tässä VSM:ssä välitöntä. Tässä VSM:ssä on tavoitteena saavuttaa virheetön tuotanto. Logistiikka ja kokoonpano on erotettu toisistaan. Lisäksi tässä VSM:ssä materiaali virtaa koko arvovirtaketjun läpi. Tuotantoa ohjataan perimmäisessä tavoite VSM:ssä suoraan asiakastilauksilla. Aina kun asiakas tekee tilauksen se tulee suoraan tuotantolinjalle, missä tuotteet valmistetaan tälle tilaukselle. Perimmäinen tavoite VSM on kuvaus parhaasta mahdollisesta tuotantoprosessista ja siksi sen toteuttaminen suoraan on mahdotonta, sillä se vaatisi niin radikaaleja muutoksia, että niihin ei nykyisellä prosessilla pystytä vaan on pitkän kehitystyön takana, että päästään edes lähelle sitä.

Visio VSM

Seuraavaksi keskityttiin miettimään, miten perimmäinen tavoite VSM saavutetaan, jos pystytään muuttamaan nykyistä tuotetta ja tuotantolaitteita. Tämän seurauksena syntyi visio VSM, joka samalla toimii uuden tuotteen tuotantoprosessin suunnitelmana. Visio VSM esitetty liitteen A kuvassa A3. Tässä VSM:ssä tuotteen kaikki prosessivaiheet yhtä lukuun ottamatta toimivat yhden kappaleen virtauksessa. Tämän mahdollistaa se, että kaikki prosessivaiheet on kytketty toisiinsa. Tuotteen käsittelyvaiheita on edelleen vähennetty ja radikaalein muutos on tuotteen yhdenkappaleen kalibrointi. Vanhalla tuotantokalibrointilaitteella tuotteet kalibroidaan suurissa erissä. Visio VSM:ssä on jäljellä enää viisi puskuria ja materiaalin käsittely ja kokoonpanotyö on erotettu toisistaan. Lisäksi tuotantoprosessia yksinkertaistetaan niin, että se jakaantuu kahteen vaiheeseen alikokoonpanon valmistukseen ja loppukokoonpanoon. Visio VSM:ssä koko tuotantoprosessia ja kaikkia sen prosessivaiheita ohjataan tahtiajan avulla. Lisäksi loppukokoonpano tullaan tekemään tuotantosolussa, johon integroidaan kalibrointiasema. Visio VSM mahdollistaa sen, että tuotantoprosessi on niin selkeä, että tehtaalla näkee, miten valmistus etenee. Lisäksi kaikki puskurit prosessivaiheiden välillä toimivat FIFO-periaatteella. Lisäksi pyritään siihen, että tuotteita voidaan lähettää asiakkaalle päivittäin, jotta valmiita tuotteita ei jouduta varastoimaan tuotannossa. Puskureita, jotka ovat tuotantoprosessien välissä, sekä komponenttitilauksia ohjataan kanban-signaaleilla, jotta puskureista saadaan imuohjautuvia. Visio VSM tehdessä arvioitiin, että tuotteen läpimenoaikaa on mahdollista laskea näillä muutoksilla 78 %. Lisäksi visio VSM:ssä asetettiin DFM-tuotteelle kovat laatutavoitteet.

Koska perimmäinen tavoite VSM on niin kaukaiselta tuntuva tavoite tässä vaiheessa ja visio vaatii suuria muutoksia valmistusprosessiin sekä itse tuotteeseen, tehtiin seuraavan askeleen VSM. Tämä kuvasi sitä, mikä on seuraava kehitysversio tuotantoprosessista ja siitä nähdään miten nykytilannetta voidaan parantaa, jotta ollaan taas askelen lähempänä lopullista tavoitetta. Seuraavan askeleen VSM esitetty liitteen A kuvassa A4. Seuraavan askeleen VSM toteutetaan nykyisellä tuotteella ja nykyisillä tuotantolaitteilla. Nämä rajoitukset aiheuttavat sen, että esimerkiksi tuotteen alikokoonpanolinja 1 ja alikokoonpanolinja 2 pysyy täysin muuttumattomana. Seuraavan askeleen suurin muutos on se, että yritetään saada virtaus aikaan nykytuotantoon kytkemällä kaikki prosessivaiheet toisiinsa niin tehokkaasti kuin mahdollista. Tämän lisäksi puskureiden määrää pystytään vähentämään puoleen. Lisäksi jäljelle jäävien puskureiden kokoa rajoitetaan. Logistiikkaan kului nykytilassa huomattavan suuri osuus työaikaa, joten tavaroiden liikuttelua vähennetään.

5.2 Lean-talon rakennus

Arvovirtakartan teon yhteydessä tehtiin seuraavat kehitysaskeleet määräävä VSM. Tätä seuraavaa askelta ryhdyttiin toteuttamaan heti kun VSM oli valmis. Tässä vaiheessa yrityksessä ryhdyttiin rakentamaan tämän tuotteen tuotannossa omaa versiota lean-talosta. Liikkeelle lähdettiin aivan perusasioista. Ensimmäiseksi tuotannossa keskityttiin lean-talomallin perustuksiin.

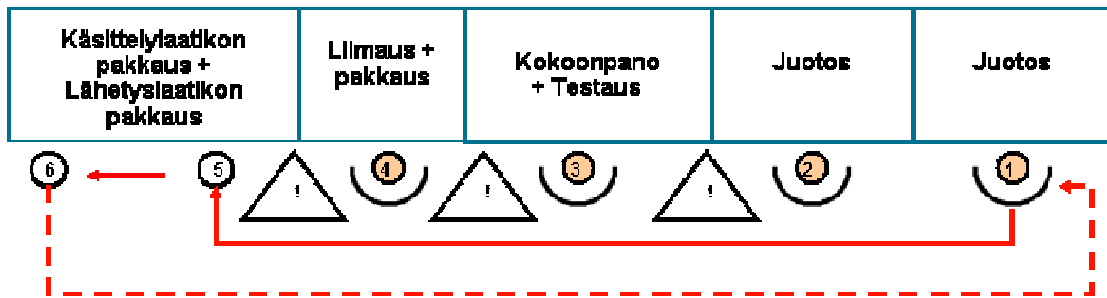
Tuotannossa aloitettiin tuotannon tasoittaminen. Tuotantomäärät tasattiin aina 4 viikkoa eteenpäin ja näin saatiin poistettua suurimmat kysyntäpiikit pois. Tämä mahdollisti eri alikokoonpanojen valmistuksen tasoittamisen. Tällä myös varmistettiin se, että tuotanto on stabiilia ja että kehitystyön tulokset näkyvät, eikä ne huku normaalin vaihtelun alle.

Tuotantomäärien tasoittamisen lisäksi tuotannossa pyrittiin stabiloimaan ja standardoimaan tuotantoa muun muassa siten, että suurimpien puskureiden kokoa rajoitettiin ja niiden ohjaukseen muodostettiin selkeä käytäntö. Tämä selkeä käytäntö oli se, että puskureissa olevien tuotteiden määriä rajoitettiin kussakin prosessivaiheessa olevien tuotantojigien määrällä. Jos kaikki tietyssä prosessissa käytössä olevat jigit olivat täynnä, se prosessi vaihe pysäytettiin, jotta ei tehtäisi ylituotantoa. Puskurin koko oli rajattu käytettävissä olevien jigien määrällä. Tämän kyseisen tuotteen kysyntä on hyvin kausiluonteista ja erityisesti loppuvuonna tehdään huomattavasti enemmän tuotteita, kuin alku vuonna. Tähän kysynnän vaihteluun pystyttiin sopeutumaan lisäämällä jigejä puskureihin tarpeen mukaan, mutta jigien kokonaismäärää kontrolloitiin tiukasti, ja jos kysyntä laski niiden määrää myös vastaavasti laskettiin.

Lisäksi tuotannossa aloitettiin järjestelmälliset 5S auditoinnit, joiden avulla tuotannosta saatiin huomattavasti selkeämpi. 5S:n avulla suurin osa ylimääräisestä tavarasta saatiin pois tehtaan lattialta. Tämän seurauksena tuotannosta tuli huomattavasti selkeämpi. Lisäksi ensimmäisiä standardeja alettiin ylläpitää siitä, miten tietyt työtehtävät tuotannossa tulee hoitaa. 5S:n ansiosta myös kiinnitettiin huomiota tuotannon visuaalisuuteen ylipäänsä.

Materiaalin hallintaan alikokoonpanolinjalla ja loppukokoonpanossa otettiin käyttöön valintamyymälähyllyt. Lisäksi työntekijöitä kannustettiin mukaan vaikuttamaan muutoksiin, keräämällä heiltä parannuskohteita, joita sen jälkeen ryhdyttiin toteuttamaan. Seuraava vaihe seuraavan askeleen VSM:stä oli toteuttaa loppukokoonpano U-solulla. U-solun avulla pystytään toteuttamaan ainakin loppukokoonpanon osalta JIT- ja Jidoka-periaatteet.

5.2.1 Esimerkki vanhasta loppukokoonpanolinjasta



Kuva 16. Tuotteen vanha loppukokoonpanolinja

Kuvassa 16 on esitetty tuotteen loppukokoonpanolinja. Kuten kuvasta 16 nähdään, vanhaa kokoonpanotapaa voi hyvin kutsua tuotantolinjamaiseksi. Kaikki työpisteet ovat samassa linjassa. Jokaisella työpisteellä työskentelee yksi kokoonpanija. Linjan käyttämiseen tarvitaan neljä ihmistä. Mikäli neljää työntekijää ei ole käytettävissä tuotantolinjan toiminta vaikeutuu huomattavasti. Työntekijät jokainen istuvat omalla työpisteellään ja suorittavat siihen pisteeseen kuuluvia työtehtäviä, mikäli yksi paikka on tyhjänä, joutuvat työntekijät vaihtamaan paikkaa kesken päivän. Toinen ongelma on se, että tyhjälle paikalle kertyy puskuria ja pahimmillaan tämä johtaa siihen, että linjan loppupää odottaa toimettomana, kun alkupää tekee puskuria. Operaattoreille tulee helposti vakiopaikat tällaisessa linjassa, mikäli työnkiertoa ei ole otettu käyttöön. Tämä johtaa siihen, että jos yksi vakiotyöntekijöistä on pois, ei muut paikallaolijat välttämättä pysty tekemään poissaolevan työtehtäviä, sillä he eivät välttämättä osaa tehdä niitä tai mikäli osaavat niin he eivät pysty tekemään työtehtäviä yhtä tehokkaasti ja linjan toiminta häiriintyy, kun keskelle linjaa muodostuu pullonkaula.

Lisäksi tuotantolinjan työvaiheiden välillä on puskurit, sillä loppukokoonpanossa työvaiheita ei ollut tasapainotettu. Linjalla olevat puskurit on merkitty kuvaan 16 kolmioilla. Eli osa työvaiheista on huomattavasti nopeampia kuin toiset. Tällöin nopeamman ja hitaamman työvaiheenvälille alkaa kertyä tuotteita puskuriin. Lisäksi linjan loppupään työntekijällä on vähemmän työtä kuin linjan alkupäässä. Tämän seurauksena linjan loppupää joutuu odottamaan, ennen kuin se saa seuraavan tuotteen, jonka se voi liimata ja pakata. Alkuvaiheen kokoonpanoa teki kaksi työntekijää, joiden työaika on 2 min 55 s per tuote, eli kun heitä on kaksi linjalle tulee juotettu tuote 1 min 30 s välein. Seuraava vaihe tuotantolinjalla on testaus ja se kestää 2 min 29 s, kun tarkastellaan alkuvaiheen kokoonpanoa ja testausta havaitaan, että näiden kahden työvaiheen aikaero on 59 s jokaisen tuotteen kohdalla. Seuraava työpiste linjalla on pakkaus, joka sisältää myös tuotteen liimauksen ja vakumoinnin. Tämä työvaiheen työaika on 1 min 31 s, josta odottelua on 22 sekuntia. Viimeisenä linjassa on käsittely- ja shippauslaatikon pakkaus. Tätä viimeistä vaihetta hoiti ensimmäisen juotospisteen tekijä, aina silloin kun käsittelylaatikko täyttyi. Katso kuva 16. Edellä mainituista työajoista havaitaan, että testaustyöpisteen työaika on kaikkien suurin ja se muodostaa pullonkaulan linjalle. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että tuotantolinjalle muodostuu puskuri ennen testauspistettä, sillä alkukokoonpano kokoonpanee tuotteita nopeammin kuin testaus ehtii niitä testata. Toinen havainto, joka voidaan tehdä tästä on se, että pakkaaja joutuu odottelemaan, koska testausvaihe on hitaampi.

Tuotteen loppukokoonpanolinjalla materiaalien käsittelyä ja kokoonpanotyötä ei ole erotettu toisistaan. Tämän seurauksena alkukokoonpanon työntekijät ja loppupään pakkaaja, joutuvat itse hakemaan täydennysmateriaalit, joka kerta kun vanhat loppuvat. Tämän seurauksena he ovat pois työpisteellä hakemassa komponentteja, aina noin joka 40:n tuotteen kohdalla. Tuotantolinjalle tuotavat materiaalit on jaettu laatikoihin niin,

että jokaisessa laatikossa on vähintään 40 kpl kutakin komponenttia. Tuotantolinjalla tämä tarkoitti sitä, että työpisteiden välillä täytyi olla puskurit, jotta työntekijä pystyi poistumaan hakemaan komponentteja, jos näin ei olisi ollut olisi linja pysähtynyt aina, kun joltain työpisteeltä olisi loppunut jokin komponentti.

Ehkä kaikkein suurin ongelma tässä vanhassa linjassa on se, että siinä ei ole erotettu ihmisen tekemää työtä ja tuotantolaitteiden tekemää työtä. Tämä tuli esille tuotteen testausvaiheessa ja pakkausvaiheessa. Testausvaiheessa jokaisen tuotteen kohdalla työntekijä odotti testin valmistumista 27 sekuntia. Tämä aika jakautui kahden testivaiheen välille tasaisesti, kun testauspisteessä kokonaistyyöaika oli 2 min 29 s. Pakkauksessa taas koneaikaa on liimauksessa ja vakumoinnissa. Liimaus kestää 14 s sisältäen testilaitteen asetusajan 4 s, eli jokaisen tuotteen kohdalla pakkaaja odottaa 10 s. Vakumoinnissa pakkaaja joutuu odottamaan 16 s sillä aikaa kun kone tekee työtä. Kaiken kaikkiaan pakkaaja joutuu odottamaan konetta 26 sekuntia jokaisen tuotteen kohdalla.

5.2.2 Solun rakennuksen työvaiheet

Rakennusvaihe

Tuotteelle rakennettiin lean-testisolu loppukokoonpanoa varten ja tämä testisolu oli osa tämän työn esimerkkitapausta. Kun seuraavan askeleen VSM muodostettiin havaittiin, että lean-talon rakennukseen tarvittavien periaatteiden toteuttaminen nykytuotannossa onnistuisi parhaiten rakentamalla vanhan tuotteen loppukokoonpanoon lean-periaatteita noudattava U-solu. Tuotantosolun rakennus noudatti yrityksen DFA-prosessia, joka on käsitelty aikaisemmin tässä työssä, kohdassa 4. Solu rakennettiin noudattaen DFA-prosessin protolinjan rakennusvaihetta.

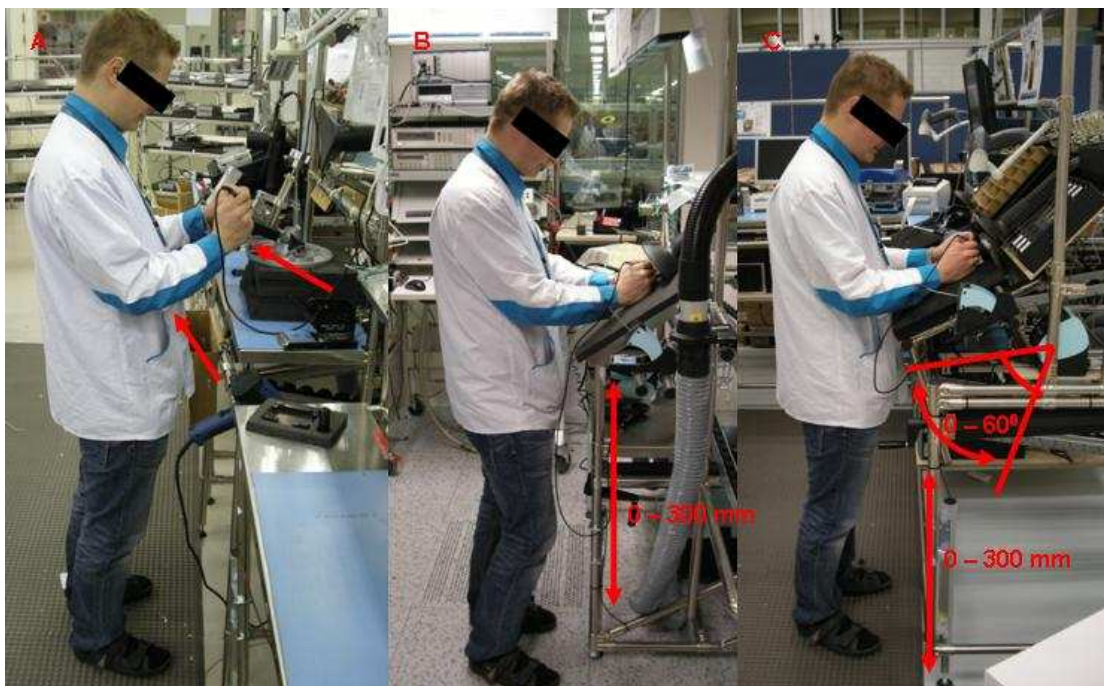
Loppukokoonpano on vain pieni osa tuotteen koko VSM:stä, mutta arvovirta analyysissä havaittiin, että nykyisellään loppukokoonpano linjassa oli huomattavasti hukkaa. Loppukokoonpanosolun rakentaminen aloitettiin DFA-prosessin mukaisesti perehtymällä VSM ja sitä tehdessä kerättyyn tietoon loppukokoonpanon eri prosessivaiheista. Arvokkaaksi tiedoksi osoittautui arvovirta-analyysia varten tehdyistä prosessin tarkasteluraporteista, niistä selvisi miten pitkään tietty prosessivaihe kestää. Lisäksi raporteista selvisi, mitä keskeisiä parannuskohteita prosessintarkkailun aikana oli havaittu kustakin loppukokoonpanon prosessivaiheesta. Seuraavaksi kaikki tuotteen komponentit kerättiin pöydälle alustavaan kokoonpanojärjestykseen. Seuraavaksi pöydälle tuotiin kaikki tarvittavat työkalut ja kokoonpanojärjestys tarkastettiin. Tämän jälkeen, mitattujen työaikojen ja VSM:n perusteella työvaiheita ruvettiin jakamaa työpisteisiin. Tässä vaiheessa keskityttiin erityisesti siihen, että solun sisällä tuote virtaisi solun läpi yhdenkappaleen virtauksessa. Heti alussa havaittiin, että tuotteen juotosvaiheet vievät niin paljon aikaa, että ne tulee jakaa kahteen vaiheeseen, jotta linjan tasapainotus kahdelle työntekijälle olisi jatkossa helpompaa.

Kun komponentit ja työkalut oli jaettu oikeille työpisteille, ryhdyttiin rakentamaan pahvimallia työpisteistä. Pahvimallin ensimmäisen version avulla tehtiin muutama koekokoonpano, mutta juotospiste oli hankala käyttää ja sitä jouduttiin parantamaan. Toisella kerralla päästiin juotospisteestä eteenpäin. Pahvimalli kuvassa 17.



Kuva 17. Ensimmäinen pahvimalli loppukokoonpanon U-solusta.

Toinen havainto, mikä tehtiin heti alussa oli se, että nykyisen tuotteen loppukokoonpanossa oli huomattavan paljon käsijuotosvaiheita. Käsijuotosvaiheet vievät paljon aikaa ja ne täytyy tehdä tarkasti. Ongelmaksi muodostui se, että seisaaltaan juottaminen on haastavaa ja hidasta. yrityksessä oli törmätty aikaisemminkin jo tähän samaan ongelmaan.



Kuva 18. Yrityksessä käytettäviä juotos pisteitä. A kohdassa esitetty ensimmäinen versio. B kohdassa seuraava kehitysversio. C kohdassa tuotteen soluun rakennettu juotospiste.

Juotospisteet ovat olleet haasteellisia toteuttaa yrityksessä, sillä monissa tuotteissa käytetään edelleen käsijuotoksia. Käsijuotosvaiheet ovat haasteellisia integroida osaksi U-solua, sillä ne kestävät kauan ja juotospisteestä on ollut haastavaa rakentaa ergonomisesti hyvä. Kuvassa 18 kohdassa A on esitelty yrityksen ensimmäinen käsijuotostyöpiste ja kuten kuvassa olevista nuolista nähdään operaattorin kyynärpäät ja käsivarret ovat ilmassa. Tässä pisteessä operaattorin kädet väsyvät nopeasti ja juottamisesta tulee hankalaa, kun ei ole minkäänlaista tukea käsille. Käsien väsyminen aiheuttaa potentiaalisen laatuongelman sillä, kun juottamisesta tulee hankalaa juotoslaatu kärsii.

Kuvan 18 B-kohdassa on esitelty seuraava kehitysversio U-solussa olevasta juotospisteestä. Tässä mallissa on pyritty kallistamaan pöytäsoitin, että se tukee käsiä juottaessa. Toiseksi juotosjigi on asennettu pöytälevyn keskelle siten, että kädet voi tukea mahdollisimman lähelle juotettavaa kohdetta. Tähän juotospistemalliin lisättiin myös korkeussäätö jolla työntekijät voivat säätää pisteen oikean korkuiseksi itselleen.

Kuvan 18 C-kohdassa on kuva U-solussa olevasta juotospisteestä. Esimerkkituotteen juotospisteeseen otettiin vaikutteita B kohdan mallista, sillä kalteva käsituki havaittiin toimivaksi käytännössä. Korkeussäädön lisäksi pisteeseen rakennettiin pöytätason kallistuksen säätö, jossa on 60 asteen säätövara. Kallistuksen säätö tarvittiin, jotta eri pituiset työntekijä voivat säätää pisteen sopivaksi itselleen.

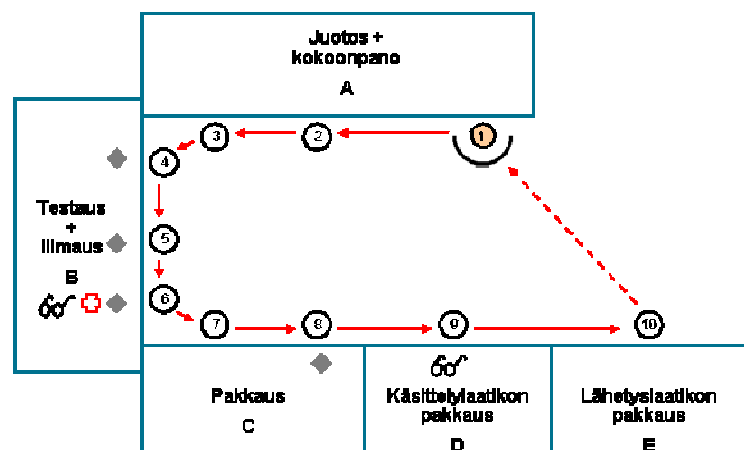
Aluksi haastavinta oli virtauksen aikaan saaminen solun työvaiheiden välille. Työvaiheiden yhdistäminen ei ole tuotteen kohdalla aivan yksikertaista, sillä alikokoonpanon sarjanumero luetaan viivakoodilla ja sen perusteella tulostetaan tarrat, joka kiinnitetään jokaisen tuotteeseen. Tämän tarran avulla tuote tunnistetaan lopputestissä. Ongelma on se, että tuotteeseen laitetaan kuoret ennen kuin se menee testiin. Kuoret peittävät tarran, joten se pitää lukea testilaitteelle ennen kuin tuotteeseen laitetaan kuoret. Tämän seurauksena viivakoodin luku liitettiin juotos- ja kokoonpanotyöpisteeseen. Tarratulostin, joka tulostaa kyseisen tarran liitettiin osaksi

juotospistettä, jotta se liitetään tuotteeseen juuri siinä vaiheessa kun sitä tarvitaan. Juotospisteissä testattiin myös erilaisia kolveja, jotta juottaminen pisteissä saataisiin mahdollisimman helpoksi. Lopulta päädyttiin samoihin kolveihin, joita käytettiin vanhassa tuotantolinjassa, mutta niiden asetuksia muutettiin, jotta ne soveltuivat paremmin U-solussa käytettäväksi.

Solun rakennusvaiheessa mitattiin myös kaikkien soluun tulevien tuotantolaitteiden prosessiaika. Samalla havaittiin, että soluun tulevista tuotantolaitteista pisin MT oli lopputestauslaitteella ja se oli 58 sekuntia, kun U-solun TT:ksi suunniteltiin 4 minuuttia. Toinen asia tuotantolaitteiden kohdalla oli se, miten koneen tekemä työ ja työntekijän tekemä työ erotettiin toisistaan. Tämä periaate on yksi tärkeimmistä asioista, jonka avulla Jidoka lean-talon toinen tukipilari saadaan toteutettua tuotantosolussa. Vanhassa linjassa työntekijä odotti testilaitetta. U-solussa oman ongelmansa aiheutti se miten testilaitteen kaikki käynnistysvaiheet saadaan tehtyä oikeassa järjestyksessä siten, että työntekijä voi jatkaa seuraavaan vaiheeseen. Kaaviokuva loppukokoonpanosolusta kuvassa 19.

Työpisteiden suunnittelussa pyrittiin optimoimaan työpisteiden ergonomia. Tämä näkyi muun muassa siinä, että pakkauspisteeseen rakennettiin taso jonka avulla laatikon voi koota seisomalla selkä suorana. Aikaisemmin laatikon kokoaminen tehtiin lattialla, jolloin työntekijä joutui kyyristymään laatikon luokse. Juotospisteisiin tehtiin kallistuksen säädöt, jotta pöydän kaltevuuden voi säätää yksilöllisesti sopivaksi. Lisäksi kaikkiin pisteisiin asennettiin korkeudensäätö. Työpisteiden korkeudensäätö on erittäin tärkeä ominaisuus, kun rakennetaan U-soluja, joissa työskennellään seisaaltaan. Jos pöytätaason korkeutta ei voi säätää oikeaksi, joutuu pitkä työntekijä kyyristymään joka työvaiheessa tai lyhyelle työntekijälle työpiste voi olla liian korkea eikä hän yllä kaikkiin työkaluihin tai materiaaleihin. Solu pyrittiin rakentamaan siten, että sinne ei tule mitään ylimääräistä ja että kaikille työkaluille on paikka.

Pakkauksen tekeminen liitettiin osaksi solua, eli käsittelylaatikot ja lähetyslaatikot kootaan solussa aina sitä mukaan, kun niitä tarvitaan. Eli käsittelylaatikko tulee täyteen kahdeksan tuotteen jälkeen, jolloin se pakataan lähetyslaatikkoon ja tilalle taitellaan uusi käsittelylaatikko, johon seuraavalla kierroksella valmistuva tuote laitetaan. Lähetyslaatikko täyttyy 40:n tuotteen jälkeen, ja samalla, kun täysi laatikko suljetaan tehdään tilalle uusilaatikko. Eli pakkauspisteessä on aina tyhjä käsittely- ja lähetyslaatikko odottamassa.



Kuva 19. Kaaviokuva loppukokoonpanosolusta ja operaattorin toiminnasta solun sisällä.

Kuten edellä mainittiin solun CT suunniteltiin yhdellä työntekijällä 4 minuuttia. Kannattavuuslaskelmat osoittivat, että mikäli tuote pystytään kokoonpanemaan alle 5,5 minuuttiin on niiden valmistaminen Suomessa kannattavaa. Kun lasketaan, että työpäivässä on 400 minuuttia tehokasta työaikaa. 4 minuutin tahtiajalla täytyy päästä 100 kpl päivätuotantovauhtiin. Ensimmäisten testien perusteella päästiin 5,5 minuutin CT:hen.

Materiaalit tuodaan soluun valintamyymälähyllystä sitä mukaan, kun materiaalia tarvitaan linjalla. Alikokoonpanot tulevat toisesta valmistustiimistä, joka on aivan solun vieressä. Alikokoonpanot tuodaan soluun tarjottimilla, joissa on kymmenen alikokoonpanoa. Solua varten rakennettiin tarjottimia, joilla piirilevyt tuodaan soluun. Piirilevyt tuodaan tarjottimissa, jotta ne ei vahingoitu käsittelyssä ja lisäksi ne on helppo ottaa tarjottimesta solussa. Muu materiaali toimii kanban-ohjauksella, jossa tyhjä laatikko on täydennys signaali. Tässä kanban-laatikko-ohjauksessa on viisi laatikkoa yhtä komponenttia kohden. Valintamyymälähyllä oli käytössä jo vanhalla tuotantolinjalla, joten sitä ei tarvinnut tehdä solua varten uudestaan. Ensimmäisten testien aikana työntekijä täytti tarvittavat materiaalit soluun ja sen jälkeen kokoonpani tuotteita näistä osista niin kauan kuin testiä jatkettiin. Valintamyymälähyllä täytettiin lähellä olevasta varastosta kerran päivässä ja tämä käytäntö jatkui testien aikana niin kuin ennenkin, koska vanha tuotantolinja oli testien aikana toiminnassa, joten se tarvitsi materiaaleja myös.

Tilaukset tulee U-soluun samalla tavalla kuin ne tulivat vanhalle tuotantolinjalle. Loppukokoonpanolla on oma taulu johon tuotannon suunnittelija merkitsee tuotantomäärät. Taulu päivitetään kerran viikossa ja tuotannon suunnittelija toimittaa tilaustiedot tarvittavat tiedot tilauksen tekemiseen tuotantolinjalle kerran viikossa.

Koekäyttö

Seuraavana vaiheena solun tekemisessä on sen koekäyttö. Sen tarkoituksena oli löytää ne mahdolliset ongelmat, joita ei ollut linjan rakennuksen aikana havaittu. Lisäksi tarkoituksena oli löytää ne ongelmat solun toiminnasta, jotka tulisivat esille vasta myöhemmin, kun solulla tehtiin enemmän tuotteita. Alku oli hidasta, koska työpisteet olivat aivan uusia ja työntekijät eivät olleet työskennelleet niissä aikaisemmin. Ensimmäinen testikerta, meni solussa työskentelyn opettelemiseen. Varsinkin manuaalisen kokoonpanotyön erottaminen koneajasta aiheutti aluksi hämmennystä ja testilaitteeseen ei aina muistettu jättää tuotetta ja jatkaa seuraavalla tuotteella kokoonpanoa. Ensimmäisellä testikerralla solun CT yhdellä työntekijällä vaihteli 5 ja 6 minuutin välillä.

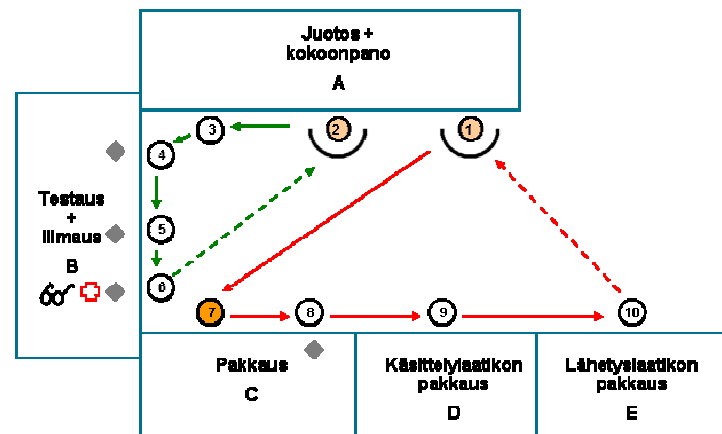
Muutamia ongelmia, joita havaittiin solun koekäytön aikana oli roska-astioiden puuttuminen sillä solu täyttyi roskasta, jota syntyy pakkauksesta. Myös testilaitteille tarvittiin paikat mihin testissä virheelliseksi havaitut tuotteet laitetaan, lisäksi pakkauspisteen vakuumikoneelle tarvittiin laatikko johon epäonnistuneet paketit laitetaan. Lähinnä vakuumikoneesta tuli huonoja paketteja silloin, kun työntekijät eivät olleet ennen käyttäneet vakuumikonetta tai eivät vähään aikaan olleet käyttäneet sitä.

Ehkä yksi suurimmista ongelmista solussa oli se, että pakkausohjelma, johon luetaan jokaisen pakattavan tuotteen tiedot viivakoodilla ei toiminut solussa halutulla tavalla. Ohjelma ei pystynyt odottamaan luettavien tuotteiden välillä enempää kuin 60 sekuntia. Jos tuotteiden luennanvälillä kului yli 60 sekuntia ohjelma lopetti luennan. Tämä oli ongelma linjan toiminnan kannalta, sillä nyt tuotteita ei voinut kirjata pakkausohjelmaan, yksi kerrallaan sitä mukaa, kun ne valmistuivat. Ohjelma luenta-aikaa pidennettiin tekemällä pakkausohjelmaan muutos. Tämän ohjelma muutoksen

jälkeen tuotteet voitiin lukea yksi kerrallaan sitä mukaa, kun ne tulevat vakuumikoneesta. Tällä pienennettiin sitä aikaa mikä kuluu, kun käsittelylaatikko tulee täyteen ja se täytyy laittaa lähetyslaatikkoon. Shippauslaatikon ja käsittelylaatikon tekeminen solussa aiheuttaa pienen katkon aina kun laatikko tulee täyteen, sillä tällöin joudutaan tekemään uusi laatikko täyden tilalle. Koekäytön aikana havaittiin, että viivakoodin lukijoiden paikkoja sekä tuotteen pakkaustarran tulostimen paikkaa vaihdettiin. Ne olivat alkuperäisessä paikassaan väärällä puolella testilaitetta ja tällöin testilaitteen tyhjennyksestä tuli tarpeettoman hankalaa.

Tuotantokäyttö

Koekäytön aikana solua käytettiin yleensä vain puolet päivästä tai joitain päiviä silloin tällöin ja muuna aikana tehtiin parannuksia soluun. Kun solun CT yhdellä työntekijällä oli pudonnut 4,5 minuuttiin ja muutenkin solun toiminta oli saatu vakautettua, siirryttiin yrityksen loppukokoonpanossa käyttämään U-solua kaikkien Suomessa tehtävien tuotteiden kokoonpanoon. Tuotantokäytön aikana solussa on tehty noin 100 tuotetta päivässä yhdellä työntekijällä. Lisäksi solu on tasoitettu kahdelle työntekijälle ja kahdella työntekijällä solun CT on 2,5 minuuttia. Kuvassa 20 on kaaviokuva 2 operaattorille tasoitetusta U-solusta.



Kuva 20. Kaaviokuva kahden operaattorin toiminnasta loppukokoonpanosolussa.

Lisäksi solusta on onnistuttu poistamaan yksi työvaihe kokonaan. Tämä voitiin tehdä, kun lopputesteriin lisättiin referenssimittalaite, jolloin samat testit voidaan tehdä lopputestin aikana. Tällä pystyttiin pienentämään solun työkuormaa. Samalla lopputesteriin tehtiin muutos, jonka avulla pystyttiin pienentämään asetusaikaa ja saatiin näppäimistö pois testiasemasta. Nyt lopputestaus käynnistyy suoraan testikammion sulkeutumisesta ja sitä ei tarvitse erikseen käynnistää näppäimistöltä.

Lisäksi solussa otettiin käyttöön viikoittaiset parannuskierrokset, kaizenit. Kaizenien tarkoituksena oli toteuttaa lean-talon tärkeimmät kohdat, eli ihmisten huomiointi ja yhteistyö sekä hukan vähentäminen. Näiden molempien osa-alueiden myötävaikutuksella soluun pyrittiin saamaan aikaan järjestelmä, jolla voitiin varmistaa, että jatkuvan parantaminen toteutuu solussa. Järjestelmä toimii siten, että solussa työskentelevät työntekijät kirjaavat ylös havaitsemiaan ongelmia ja parannusehdotuksia.

Nämä ehdotukset kiinnitetään tauluun, joka löytyy solun vierestä. Viikon aikana soluntyöntekijät pisteyttävät havaitut ongelmat. Jokaisella työntekijällä on viisi pistettä käytettävissä, joita he sijoittavat havaittujen ongelmien kohdalle. Viikonlopulla, kun pidetään kaizen, ongelmia ja parannusehdotuksia ryhdytään käsittelemään pistejärjestyksessä, eli se ongelma, mikä on saanut suurimman määrän pisteitä korjataan

ensin. Kun jokin ongelma on saatu ratkaistua, sille annetut pisteet ovat jälleen käytössä ja työntekijät saavat taas sijoitella ne niin kuin parhaaksi näkevät. Tällä järjestelmällä on se etu, että ongelmien ratkaisuisissa keskitytään niihin ongelmiin, jotka ovat työntekijöiden kannalta kaikkein tärkeimpiä. Toiseksi, koska Kaizen pidetään joka viikko, on joka viikolle varattu aikaa jolloin kehitetään solua eteenpäin. Lisäksi kaizeneissa työntekijät pääsevät itse tekemään muutokset soluun, jolloin niistä tulee juuri sellaisia, että ne helpottavat heidän työtään kaikkein parhaalla mahdollisella tavalla. Lisäksi tällä tavalla työntekijät pääsevät vaikuttamaan omaan työympäristöönsä ja samalle he sitoutuvat työskentelyyn solussa paremmin.

Tuotantokäytön aikana havaittiin edelleen se ongelma, että työntekijät eivät lukueneet tuotteita pakkausohjelmaan yksikerrallaan, vaan aina yhden käsittelylaatikollisen kerrallaan. Ongelma tällä kertaa oli se, että näyttö jolla pakkausohjelmaa käytettiin oli väärässä paikassa, jolloin työntekijä ei nähnyt helposti oliko ohjelma varmasti luenut kyseisen tuotteen viivakoodin onnistuneesti vai ei. Tämä ongelma ratkesi lopulta siihen, että näyttö siirrettiin oikeaan paikkaan ja ongelma poistui. Toinen ongelma, joka havaittiin oli se, että käsittelylaatikoiden tekeminen ja lähetyslaatikoiden tekeminen solussa hidasti solua aina joka kahdeksannen tuotteen kohdalla. lähetyslaatikon tekeminen joka 40:n tuotteen jälkeen oli vielä suurempi ongelma. Kun laatikot tehdään solussa, aina sillä kierroksella, jolla laatikko tehdään kasvaa sen kierroksen CT. Tilanne on hankala silloin, kun solussa työskentelee kaksi työntekijää. Kahden työntekijän työkuorma on jaettu sen oletuksen perusteella, että solun CT pysyy stabiilina. Nyt erityisesti lähetyslaatikon tekeminen aiheuttaa tähän toisen työntekijän kierrokseen kahden minuutin lisätyön, joka sotkee kahden ihmisen työskentelyn solussa. Tähän käytetään ratkaisuna sitä, että laatikot tulevat linjalle valmiiksi koottuna, jolloin työntekijät vain täyttävät ja sulkevat ne. Kuvassa 21 on kuva solusta tuotantokäytössä.



Kuva 21. Loppukokoonpanosolu tuotanto käytössä.

5.2.3 Vanhan ja uuden linjan vertailua

Suurin ero uuden U-solun ja vanhan linjan välillä on se, että työpisteet on kytketty toisiinsa mahdollisimman tiiviisti. Kaikki työvaiheet, jotka kuuluvat U-soluun tehdään samalla kierroksella. Tällä saavutetaan se etu, että solussa yksi ihminen voi työskennellä tehokkaasti. Vanhassa linjassa yhden ihmisen oli käytännössä mahdotonta työskennellä linjalla yksin. Jotta linja pyöri tehokkaasti, tarvittiin neljä työntekijää. U-solussa voidaan tuotteita tehdä tehokkaasti yhdellä tai kahdella työntekijällä. Kahdella työntekijällä päästään jo hyvin lähelle vanhan tuotantolinjan päivittäistä tuotantovauhtia. Virtaus toimii työpisteiden välillä, koska työvaiheiden väliltä on poistettu puskurit. Vanhassa linjassa oli kolme puskuria loppukokoonpanon työvaiheiden välillä. Toinen seikka, joka edistää virtauksen toteutumista solun sisällä on työntekijöiden tekemän manuaalisen työn erottaminen tuotantolaitteiden tekemästä konetyöstä. Kolmas seikka, joka keskeisesti vaikuttaa virtauksen toteutumiseen U-solun sisällä on se, että työntekijät liikkuvat työvaiheiden läpi samalla, kun tekevät tuotteita. Vanhassa linjassa työntekijät istuivat aina yhdessä työpisteessä. Tämän takia virtaus ei toimi sillä kukin hoitaa vain omat työpisteensä ja jos seuraavan työpisteen työntekijä on hakemassa komponentteja syntyy työpisteiden välillä varastoa. Kun työntekijät liikkuvat tuotantosolussa, he voivat tehdä jokaisen työvaiheen aina yhdelle tuotteelle kerrallaan ja yhden kappaleen virtaus toimii.

Lisäksi työntekijät oppivat kaikki tuotteen kokoonpanemiseen tarvittavat työvaiheet, kun he työskentelevät solussa. Eli työntekijöiden kyvyt lisääntyvät, koska he eivät tee vain yhtä ainoaa työvaihetta, vaan he hallitsevat loppukokoonpanon jokaisen työvaiheen. Jos yksi työntekijä on poissa pystytään linjaa käyttämään yhdellä työntekijällä. Työntekijöiden määrää solussa voidaan muuttaa kysynnän mukaan, jos kysyntä kasvaa voidaan solun kapasiteettia kasvattaa lisäämällä soluun yksi työntekijä. Vastaavasti, jos tuotteiden kysyntä laskee voidaan solusta vähentää työntekijä. Materiaalin tuonti on erotettu kokoonpanotyöstä.

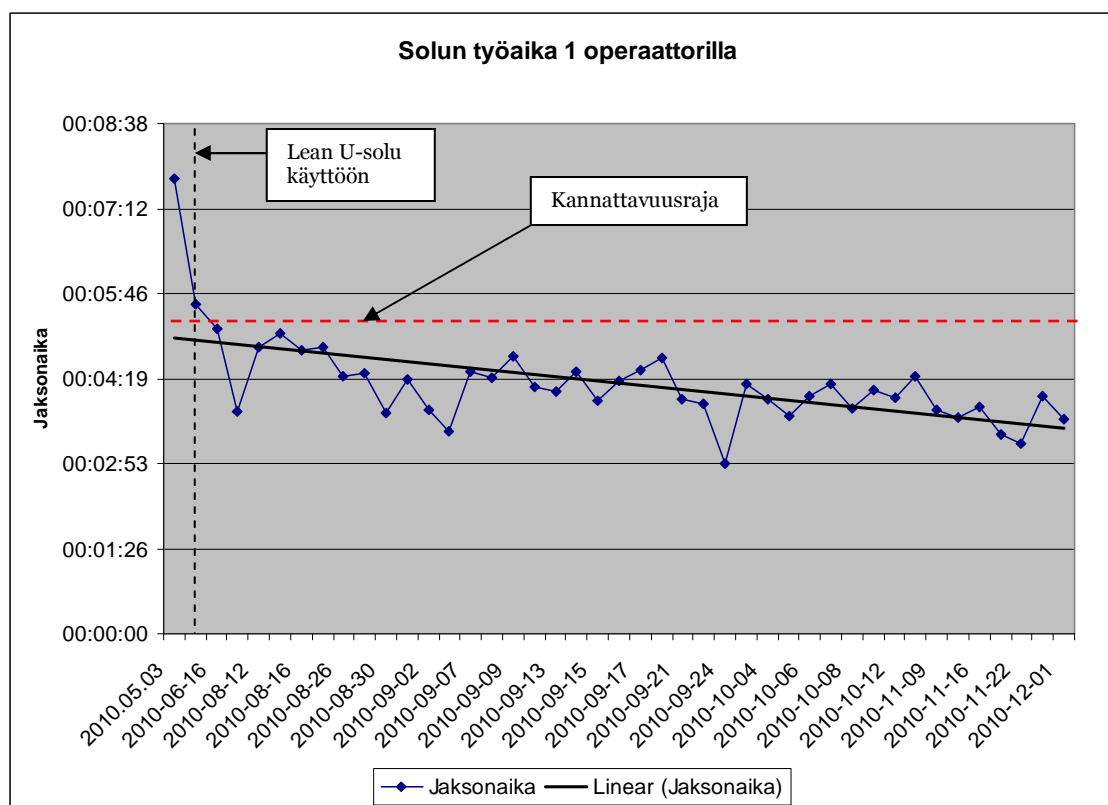
Yksi hyöty mikä tuli esille heti, kun solu otettiin käyttöön on se, että palaute solun sisällä on välitöntä. Kun tuotteet valmistetaan yhdenkappaleen virtauksella havaitaan heti, mikäli tuote ei täytä laatuvaatimuksia. Kun virhe havaitaan heti, ei ole suurta puskuria, joka joudutaan käymään läpi.

Taulukko 1. Mittaustulosten vertailua vanhan linjan ja U-solun välillä

	Vanha linja	Lean solu 1 operaattori	Lean U-solu 2 operaattoria	Yksikkö
Operaattoreiden määrä	4	1	2	hlö
Jaksonaika	00:02:30	00:04:00	00:02:30	min
Tehokkuus	1	+120	+50	tuotetta/operaattori (päivässä) %
WIP	27	4	5	kpl
Läpimenoaika	01:07:30	00:16:00	00:12:30	hh:min:ss
Koneaika	00:02:20	00:01:28	00:01:28	min
Asetusaika	00:02:16	00:01:28	00:01:28	min
Odotusaika	48	0	0	s

Taulukkoon 1 on kerätty mittausinformaatiota vanhalta ja uudelta linjalta. Kuten taulukosta 1 nähdään operaattoreiden määrä on uudessa solussa merkittävästi pienempi, kuin vanhalla linjalla. Tämä johtuu siitä, että yhdenkappaleenvirtauksen avulla on pystytty poistamaan ylimääräinen odottelu ja puskurit solun työvaiheiden väliltä. Lisäksi hukkaa on poistettu solusta erottamalla manuaalinen työaika ja koneaika toisistaan. Lisäksi lean-solun työvaiheita on karsittu siten, että käsijuotosvaihetta saadaan nopeutettua ja samalla varmistetaan, että yhdessäkään juotosvaiheessa ei tule liian pitkiä aikoja paikallaan seisomista. Lisäksi lopputesterin asetusajaa on pienennetty poistamalla erillinen käynnistys painike, nyt lopputestaus käynnistyy samalla kun testikammion kansi suljetaan. Asetusajat ovat pienentyneet myös siitä syystä, että yksi testausvaihe on kokonaan poistettu linjasta. Tämä testausvaiheen poistuttua solusta myös solun MT on laskenut tuon kyseisen testin keston verran.

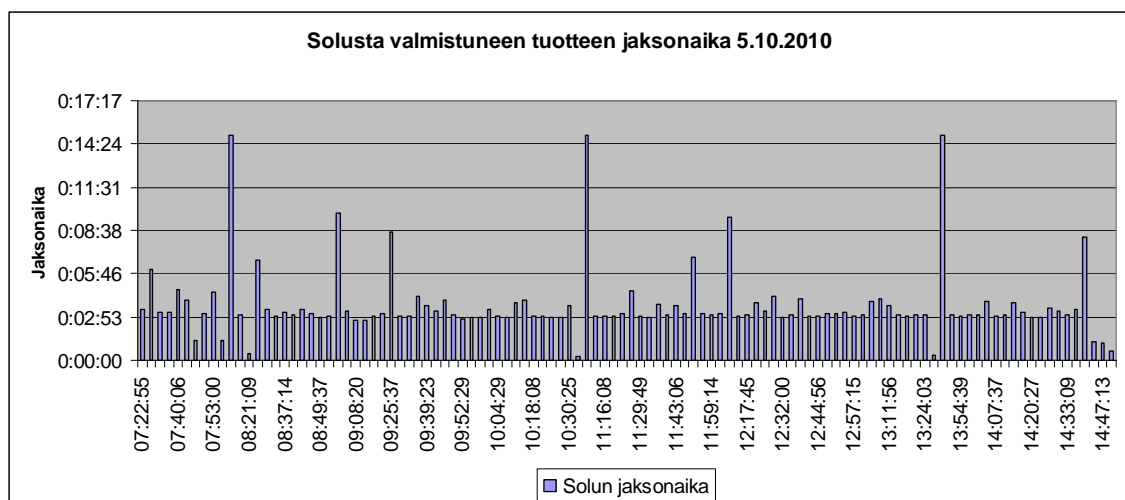
Samalla kun U-solu otettiin käyttöön havaittiin, että tuotteen yksittäispakkauksen tekeminen kestää 1.29 minuuttia. Tämä tarkoittaa, sitä että yksittäispakkauksen tekemiseen kuluu 38 % koko tuotteen kokoonpanoajasta. Tähän aikaan ei ole vielä huomioitu ollenkaan tuotteen käsittely- tai lähetyslaatikon tekemiseen kuluva aikaa. Erityisesti lähetyslaatikon tekeminen on erittäin hankalaa ja aikaa vievää. Lisäksi kun pakkausta tutkittiin tarkemmin havaittiin, että hyvin usein tilausten kappalemäärät eivät olleet jaollisia 40:llä, joka on tuotteiden määrä mikä mahtuu lähetyslaatikkoon. Tilausmääriä tarkastelemalla havaittiin, että hyvin usein tuotannosta lähetettiin vaillinaisia lähetyslaatikoita. Koska nykyinen yksittäispakkaus oli niin hankala, päädyttiin yrityksessä suunnittelemaan tuotteen pakkaus uusiksi. Tämä pakkauksen suunnitteluprojekti on alusta lähtien pyrkinyt nopeuttamaan tuotteen yksittäispakkausta, mutta projekti on edelleen kesken.



Kuva 22. Solun työaika per tuote yhdellä operaattorilla.

Kaikkien edellä mainittujen seikkojen lisäksi suurin tekijä lean-solun työajan pimenemiseen kuvan 22 mukaisesti on se, että työntekijät ovat oppineet työskentelemään yhdenkappaleen virtauksen mukaisesti U-solussa. Oppimisen lisäksi solun kehittämisellä on selkeä vaikutus työajan pienenemiseen. Viikoittain pidettävät Kaizenit solussa parantavat solun toimintaan ja helpottavat työntekijöiden työntekoa. Oppimisen ja solun parannusten yhteisvaikutus on nähtävissä kuvassa 22. 3.5.2010 mitattu jaksonaika on mitattu vanhalla tuotantolinjalla. Kuvassa 22 sinisellä on merkitty solun jaksonajan keskiarvo tiettyinä päivinä. Musta yhtenäinen suora kuvaavaa jaksonajan trendiä. Mustan katkoviivan kohdalla siirryttiin käyttämään U-solua.

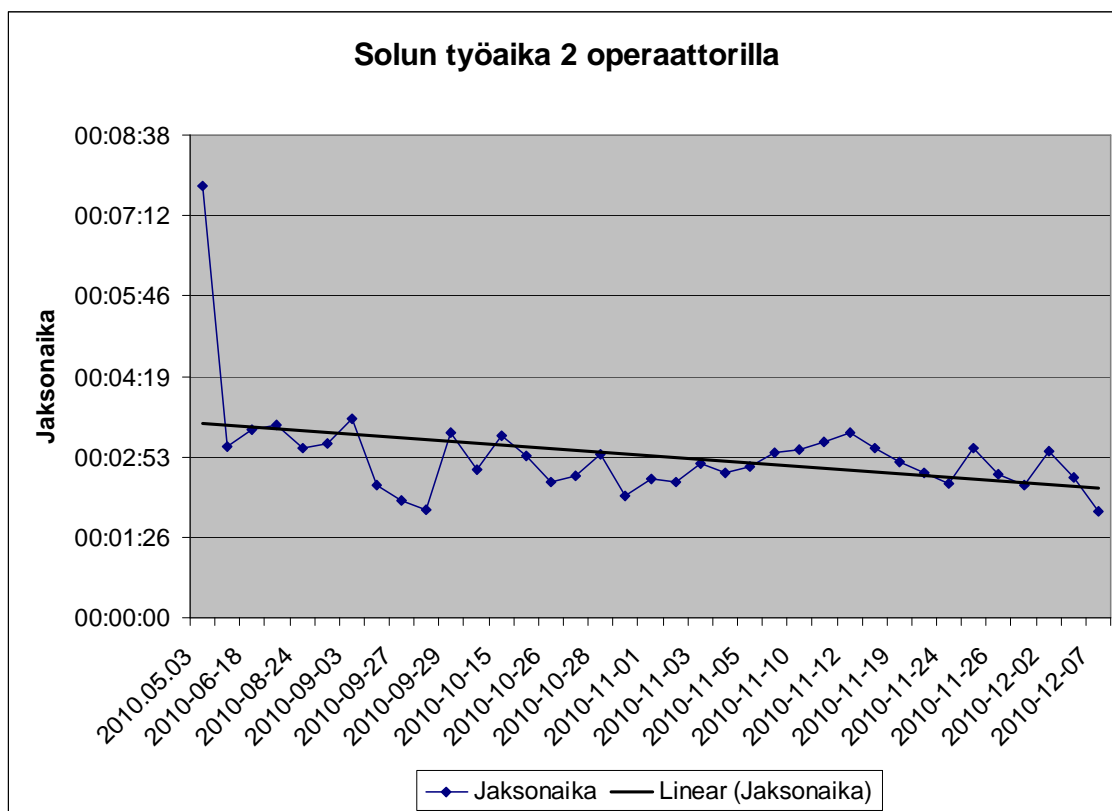
Toukokuun ja kesäkuun mittapisteiden välillä näkyy selvästi, kuinka yhdenkappaleen virtaus, puskureiden poistaminen ja juotosvaiheiden poistaminen vaikuttavat tuotteen työaikaan. Kesäkuun ja syyskuun mittapisteiden välillä nähdään kuinka suuri vaikutus sillä on solun työaikaan, kun työntekijät oppivat työskentelemään solussa ja samalla tuotantomääriä nostetaan. Syyskuun mittapisteen jälkeen nähdään millainen vaikutus solun kehittämisellä on työaikaan, lisäksi elokuun mittapisteen jälkeen on myös tapahtunut oppimista, mutta solussa työskentely ei ole merkittävästi muuttunut tällä ajanjaksolla, joten oppimisen merkitys tällä ajan jaksolla on ollut vähäinen. Punaisella katkoviivalla merkitään kuvassa 22 sitä työaikaa, jonka alle on yrityksen Suomen loppukokoonpanossa päästävä, jotta tuotteiden tekeminen Suomessa olisi kannattavaa. Kannattavuusraja kattaa vain Euroopan markkinoille tehtävät tuotteet, jotka muutenkin lähetetään Suomen kautta vaikka ne olisi tehty alihankkijalla Aasiassa. Kuvasta 22 nähdään että yhden tuotteen loppukokoonpanoon kuluva työntekijän työaika on pienentynyt 00:07:43:sta 00:03:37:n, eli 53 %. Samaan aikaan tuotantomäärä per työntekijä on noussut 120 %. Tuotantomäärä per henkilö ei tässä tapauksessa ole todellisuudessa noussut aivan näin merkittävästi, vaan marraskuun ja joulukuun mittapisteiden kohdalla on tehty hieman pidempää työpäivää. Tuotantomäärän per työntekijä kasvun oikea arvo on lähempänä 100 %.



Kuva 23. Kuvassa on esitetty U-solun jaksonaika jokaisen valmistuneen tuotteen kohdalla.

Kuvassa 23 on esitetty U-solun jaksonaika jokaisen valmistuneen tuotteen kohdalla 5.10.2010. Kuvassa kaikki 15 minuuttia pitkät jaksonajat on pyöristetty 15 minuuttiin, jotta muiden mittausarvojen erot näkyisivät paremmin. Käytännössä nämä suuret piikit ovat työntekijöiden aamupäivän kahvitauko, lounastauko ja iltapäivän kahvitauko.

Kaikki muut piikit kuvassa 23, jotka ovat alle 15 minuuttia, ovat tuotanto soluntoiminnassa esiintyneitä ongelmia. Mutta kuten kuvaajasta nähdään solun tuotantovauhti on hyvin tasainen. Tämä on osoitus siitä, että solu toimii stabiilisti ja kaikki työvaiheet vievät, jokaisella kierroksella solussa yhtä kauan. Tämä auttaa tuotannonohjausta merkittävästi, koska nyt tiedetään kuinka monta tuotetta solussa voidaan tehdä päivässä yhdellä operaattorilla. Lisäksi tämä solun stabiili tuotantovauhti auttaa materiaalien tuomisessa soluun, koska kulutus on tasaista, voidaan materiaalin täydennyskierrokset tehdä aina tiettyihin aikoihin päivästä.



Kuva 24. Solun työaika per tuote kahdella operaattorilla.

Kuten edellä mainittiin U-solu käytettiin myös kahdella operaattorilla yhtä aikaa. Kuvassa 24 on esitetty U-solun jaksonajan kehitys, samalla tavalla kuin kuvassa 22. Kuvasta nähdään että myös kahdella operaattorilla kehitys on ollut oikean suuntaista, mutta tuotantomäärät on vaihdellut voimakkaasti mittausjakson aikana. Lisäksi jaksonaika on vaihdellut myös huomattavasti enemmän kuin yhdellä operaattorilla kuvassa 22. Tähän on syynä se, että solun toiminnassa kahdella operaattorilla ei ole tapahtunut yhtä nopeaa oppimista kuin yhdellä operaattorilla tapahtui. Tämä johtuu siitä, että operaattorit eivät mielellään noudattaneet solun tasapainotettua työnjakoa ja tämä aiheutti sen, että solun toiminta ei ollut stabiilista. Tämä aiheuttaa sen, että kahdella ihmisellä solun tehokkuus ei ole ollut yhtä hyvä kuin yhdellä operaattorilla. Mutta kuten kuvasta 24 nähdään on kehitystä kuitenkin tapahtunut oikeaan suuntaan.

Kaiken kaikkiaan loppukokoonpanosolu kokeilu onnistui hyvin ja lopulta se otettiin täysimittaiseen tuotantokäyttöön. Lisäksi U-solun käyttöönoton jälkeen tuotteiden tekeminen Euroopan-markkinoille on kannattavaa Suomessa. Koska tuotteiden tekeminen on järkevää tietyille markkinoille suomessa on nykyinen U-solu tarkoitus kopioida, jolloin Suomessa tehtävien tuotteiden määrää voidaan kasvattaa.

5.3 Uudentuotteen DFM-projekti

5.3.1 DFM tuotannonprojektin suunnittelu päivä

DFM-projekti tuotannon osalta jatkui VSM tekemisen jälkeen tuotannon projektin suunnittelupäivällä, jossa suunniteltiin tuotannon projektin aikataulu ja tavoitteet projektin lopputuotteelle, eli uuden tuotteen tuotantoprosessille. Tässä vaiheessa määriteltiin muun muassa mitkä ovat ne asiat, jotka projektin on tuotettava, jotta lopputuloksena syntyy toimiva tuotantoprosessi. Valmistelu oli jaettu seuraaviin osiin: anturit ja alikokoonpano, tuotehallinta ja myynti, logistiikka ja tuotannon suunnittelu, osto ja loppukokoonpano. Tässä työssä keskitytään vain DFM-projektin loppukokoonpanoon liittyviin asioihin.

Loppukokoonpanon osalta tässä tilaisuudessa hahmoteltiin ensimmäinen karkea vuokaaviokuvaus loppukokoonpano prosessista. Lisäksi tehtiin ensimmäiset suunnitelmat siitä, miten valmistettavuus optimoidaan loppukokoonpanon osalta. Samalla pyrittiin tekemään ensimmäiset arviot siitä missä vaiheessa protokierrokset tehtäisiin.

5.3.2 3D-mallien kommentoiminen 1. kerta

Ensimmäisiä 3D-malleja uudesta tuotteesta arvioitiin heti kun ne olivat valmiita konseptivaiheessa. Tässä vaiheessa tuotekehitys oli muodostanut neljä erilaista mallia, joita vertailtiin ja joista pyydettiin palautetta. Mallit poikkesivat toisistaan niin rakenteeltaan kuin myös niissä käytettyjen materiaalien puolesta. Osasta malleista oli tehty pikamalleja, joiden avulla laitteen fyysistä kokoa oli helpompi arvioida.

Jokaista mallia arvioitiin erikseen ja niistä etsittiin positiiviset puolet kuin negatiiviset puolet. Lopuksi jokainen tilaisuuteen osallistunut valitsi suosikkinsa esiteltujen mallien joukosta. Tilaisuuteen osallistui edustajia kaikista yrityksen funktioista, joita DFM-tuote koskettaa aina myynnistä tuotantoon ja kunkin tahon oli tarkoitus kommentoida esiteltyjä malleja edustamansa tahon kannalta.

Loppukokoonpanon kannalta malleissa oli huomautettavaa erityisesti materiaalien ja niiden mekaanisen rakenteen kannalta. Osassa malleista oli käytetty tuotteen ulkokuorena pehmeää eristemateriaalia, jonka käyttö saattaa aiheuttaa tuotantolinjalla sen, että tuote voi naarmuuntua herkästi. Lisäksi eristemateriaalin sisälle on hankala saada kiinnikkeitä kotelon sisälle tuleville komponenteille. Osassa malleissa oli käytetty kotelon sulkemiseen rakennetta, joka olisi mahdollisesti vaikeuttanut kokoonpanoa, sillä sen käyttö olisi edellyttänyt hankalia pujotusvaiheita. Lisäksi kokoonpantavuuden kannalta kiinnitettiin huomiota siihen, että mikäli joidenkin komponenttien asennukseen tarvittaisiin työkaluja, olisi näiden komponenttien ympärillä riittävästi tilaa. Kokoonpantavuuden kannalta hyvää esitellyissä malleissa oli se, että suurimman osan komponenteista pystyi asettamaan paikoilleen suoraan yläpuolelta siten, että laitteen pohjaa voi käyttää kokoonpanojiginä. Lisäksi DFM-tuotteen eri malleissa oli otettu huomioon tiukat laatuvaatimukset, jotka uudelle tuotteelle on asetettu ja uusissa malleissa oli vain yksi käsijuotos. Tästä yhdestä juotoksesta tulisi myös vielä pyrkiä eroon, koska käsijuotoksilla ei päästä samaan luotettavuuteen kuin koneellisesti

juotetuilla komponenteilla. Valmistettavuuden kannalta kommentoitiin myös sitä, että tuotteeseen tulevaa komponenttimäärää voitaisiin edelleen pienentää.

5.3.3 Pikamallien ja 3D-mallien kommentoiminen 2. kerta

Toisen kerran 3D-malleja päästiin kommentoimaan, kun yksi aikaisemmin esitellyistä konsepteista oli valittu ja sen suunnittelussa oli edetty jo pidemmälle. Tässä vaiheessa esimerkiksi piirilevystä oli jo toimiva prototyyppi olemassa ja monet piirilevylle tulevista komponenteista oli jo valittu. Lisäksi kaikista komponenteista, joita tuotteen kotelon sisälle tulee oli olemassa hahmotelma. Lisäksi monista komponenteista oli olemassa pikamallit, joiden avulla pystyttiin tarkastelemaan yksittäisiä komponentteja. Pikamallien tekemiseen käytetty materiaali oli sellaista, että komponenttien kiinnittymistä toisiinsa ei voinut vielä testata. Pikamallien perusteella kysyttiin kommentteja tuotannon edustajilta.

Tässä vaiheessa yksi kokoonpanoon vaikuttavista asioista, joka nousi esiin on se, että tuotteen paristoja ei voi asentaa väärin päin sillä, muuten tuote hajoaa. Itse paristokotelossa, joka asennetaan piirilevyyn kiinni, ei ollut tässä mallissa virheen estintä, jonka avulla varmistettaisiin se, että paristot tulee asennettua oikein päin. Paristo-ongelmaa yritettiin ratkaista suunnittelemalla paristo kotelon mekaniikka siten, että paristoa on mahdotonta asentaa väärinpäin.

Alikokoonpanon kiinnitys piirilevyyn on haasteellinen sillä kuten edellä mainittiin alikokoonpano ei saa kulkea liian lähellä piirilevyn pintaa. Tämä tarkoittaa sitä, että alikokoonpano täytyy saada kiinni liittimeen, joka on piirilevyn pinnalla ja heti kiinnityskohdan jälkeen alikokoonpanon on nouseva jyrkästi ylös päin, jotta tarvittava etäisyys piirilevyn etureunaan säilyy. Tämän lisäksi kokoonpantavuuden kannalta olisi parempi, jos alikokoonpanon liitin olisi sellainen, että alikokoonpanon voi asentaa silloin kun piirilevy on jo asennettu kotelon pohjaan. Tällöin pohja toimii kokoonpanojiginä ja tuotteen kaikki komponentit voitaisiin kokoonpanna suoraan ylhäältäpäin asentamalla komponentit päällekkäin. Tämä on DFA-periaatteiden mukaan kaikkein yksinkertaisin ja nopein tapa kokoonpanna laitteita. Nykyisessä uuden tuotteen mallissa oli kuitenkin alikokoonpanolle laitettu työntöliitin. Työntöliittimen takia alikokoonpanoa ei voi kiinnittää piirilevyyn silloin, kun itse piirilevy on jo asennettu kotelon pohjaan. Tämän seurauksena kokoonpanoon tarvitaan kahta kokoonpanosuuntaa ja alikokoonpanon kiinnityksessä se joudutaan pujottamaan ja kohdistamaan liittimeen. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että alikokoonpano on kiinnitettävä piirilevyyn erillisessä kokoonpanojigissä, jonka jälkeen piirilevy kiinnitetään kotelon pohjaan.

Tuotteen kotelon yläosaan oli suunniteltu tiiviste. Kokoonpantavuuden kannalta on tärkeää valita tiivisteen materiaali oikein, jotta se ei kuoria suljettaessa puristu väärin niiden väliin. Tämä riski on olemassa, mikäli tiivistemateriaali on hyvin pehmeää. Toisaalta tiivistemateriaalin täytyy olla riittävän pehmeää, jotta se tiivistää kuoret hyvin. Tiivisteen paikallaan pysymisen varmistamiseksi voidaan tehdä paljon suunnittelemalla tiiviste ja kuoret niin, että tiiviste ei pääse pois paikoiltaan asennuksen aikana. Toinen kotelon tiiviyyteen liittyvä haaste oli se, että miten varmistetaan että tuotteen kuoret kiinnittyvät toisiinsa mahdollisimman hyvin. Tähän esiteltiin kahta eri mallia, miten tämä voidaan tehdä. Ensimmäinen vaihtoehto on se, että kotelot kiinnitetään ruuvilla. Ruuvien etuna on se, että sen avulla kotelosta on helpompi tehdä tiivis. Ruuvien huonona

puolena on se, että ruuvien saamiseksi kohdilleen täytyy suunnitella ohjureita, jotka helpottavat ruuvien kohdistamista. Lisäksi kokoonpanosoluun tarvitaan erillinen työkalu ruuvien kiinnitystä varten. Toinen vaihtoehto kuorien kiinnittämiseen on tehdä kuorien väliin pikaliitos, joka on erittäin nopea kiinnittää ja perustuu muoviosien joustoon sekä osien oikeanlaiseen muotoiluun. Tämän liitoksen etuna on se, että osien kiinnittämiseen tarvita työkaluja vaan osat on suunniteltu niin, että ne voidaan kiinnittää toisiinsa hyvin nopeasti ilman työkaluja. Lisäksi komponenttimäärä ei kasva erillisillä kiinnikkeillä, kun kiinnitys on suunniteltu osaksi tuotteen kuoria. Toisaalta pikaliitoksen tekeminen tiiviiksi on haastavaa, erityisesti kun tuotteen rakenteessa käytetään tiivistettä.

Tässä vaiheessa esitellyssä mallissa oli kotelon sisäpinnat vuorattu eristekerroksella. Tämän ongelmana on kuitenkin se, että piirilevynä ei ollut kiinnitetty kotelon sisälle mitenkään. Ajatuksena oli, että piirilevylle olisi kotelossa juuri oikean kokoinen kolo, josta se ei pääsisi liikkumaan. Tämä on kokoonpantavuuden kannalta hyvä, sillä piirilevyn kohdistaminen paikalleen on helpompaa. Toisaalta tällaisessa rakenteessa on se ongelma, että piirilevy saattaa liikkua kotelon sisällä, mikä ei ole hyvä asia laitteen luotettavan toiminnan kannalta.

Kokoonpanon kannalta yksi hyvin haasteellinen seikka tässä esitellyssä mallissa oli se, että siinä oli kaksi isoa tarraa. Toinen tarra oli hyvin suunniteltu, sillä se oli suunniteltu niin, että sen pystyi laittamaan paikalleen vain oikeinpäin. Toinen tarra oli kokoonpanon kannalta, erittäin ongelmallinen, sillä se peitti koko laitteen takakannen. Näin suuren tarran kiinnittäminen ilman että se rypistyy on huomattavan hankalaa ja suunnittelijoille esitettiin toive, että tästä tarrasta voitaisiin luopua.

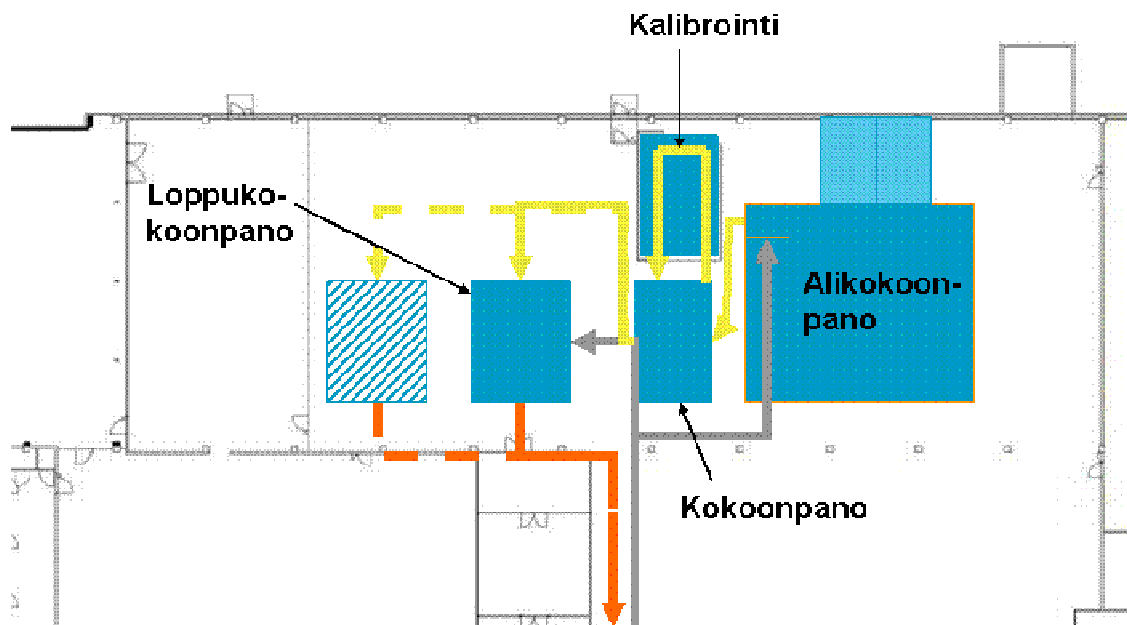
Hyvää uudessa DFM-mallissa oli se, että siinä oli merkittävästi vähemmän erillisiä komponentteja, kuin vanhassa tuotteessa. Vanhassa mallissa oli 51 eri komponenttia kun DFM-mallissa oli tämän hetken suunnitelmien mukaan 16 eri komponenttia. Lisäksi käsijuotokset oli pystytty poistamaan tuotteesta kokonaan. Vanhassa tuotteessa oli yhteensä 82 eri käsijuotosta. Kaikki tarvittava elektroniikka oli mahdutettu samalle piirilevylle, kun vanhassa tuotteessa oli parhaimmillaan kolme erillistä piirilevyä.

5.3.4 Tuotannon uusi pohjapiirros

Puhdastilan sijoituspaikka päättäminen tuli ajankohtaiseksi, kun puhdastila täytyi rakentaa ennen, kun uuden tuotteen alikokoonpanolinjaa voitiin aloittaa rakentaa. Samalla pyrittiin suunnittelemaan tuotannon pohjapiirros kokonaisuutena, jotta kaikki olennaiset asiat tulisi muutenkin huomioitua. Samaan aikaa yrityksen tuotannossa oli muutenkin suunnitteilla suuria muutoksia tehdastilojen pohjapiirrokseen. Koko tehtaan pohjapiirroksen muutoksessa pyrittiin optimoimaan materiaalivirtoja kaikkien tuotteiden kannalta.

Tuotteen tuotannon materiaalivirrat on esitetty kuvassa 25. Kuvassa harmaalla nuolella kuvataan komponenttien virtausta varastosta loppukokoonpanoon ja alikokoonpanolinjalle. Näistä komponenteista valmistetaan alikokoonpanolinjalla tuotteen alikokoonpanoja, jotka siirtyvät keskeneräisenä tuotantona kokoonpanoon. Keskeneräisten tuotteiden materiaalivirrat on kuvassa 25 esitetty keltaisella nuolella. Kokoonpanossa alikokoonpanot yhdistetään ja tämän jälkeen valmiit kokoonpanot viedään kalibrointiin, jossa alikokoonpanot kalibroidaan suurissa erissä. Kuvasta 25 nähdään, että kalibroinnin jälkeen alikokoonpanot palaavat vielä kokoonpanoon.

testaukseen. Valmiit alikokoonpanot kuljetetaan loppukokoonpanoon. Loppukokoonpanosta valmiit tuotteet kuljetetaan lähetyslaatikoissa lähettämöön, josta ne lähetetään asiakkaalle. Kuvassa 25 valmiidentuotteiden materiaalivirrat on esitetty oranssilla. Edellä mainittu pätee vain suomessa tuotetuille tuotteille, sillä Aasiassa alihankkijalla tehtyihin tuotteisiin alikokoonpanot lähtevät lähettämöön suoraan kokoonpanosta.

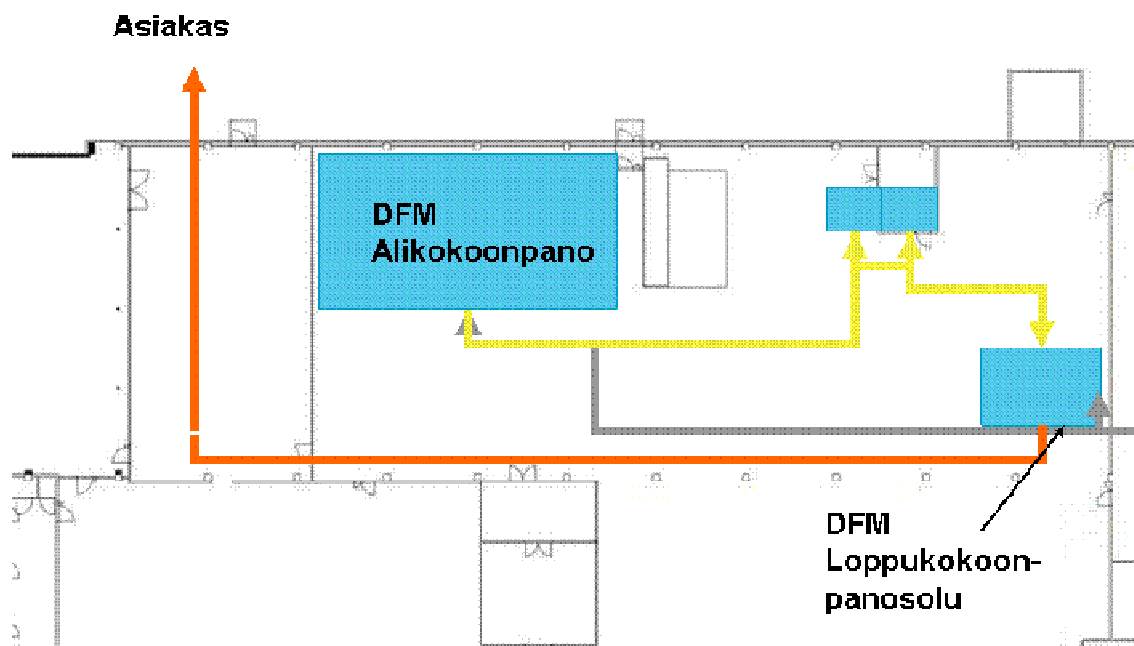


Kuva 25. Nykytilanne tuotannossa. Harmaa nuoli kuvaa komponenttien virtausta varastosta supermarketiin. Keltainen nuoli kuvaa keskeneräisen tuotannon kulkua tuotannossa. Oranssi nuoli kuvaa valmiiden tuotteiden kulkua tuotannosta asiakkaalle.

Uuden tuotteen tuotannon pohjapiirroksen tarkoituksena oli selvittää puhdashuoneelle optimaalinen sijoituspaikka. Puhdashuoneen sijoituksessa oli käytännön tuotannon toiminnan ohella myös muita määrittäviä seikkoja, kuten esimerkiksi soveltuuko valitun paikan ilmastointi puhdashuoneen rakennukseen. Uuden tuotteen alikokoonpanon valmistusprosessi käyttää osittain samoja tuotantolaitteita, vanhan tuotteen kanssa ja tämä oli huomioitava uuden tuotteen tuotannon pohjapiirroksessa. Tämä seurauksena päädyttiin siihen tulokseen, että pohjapiirros oli suunniteltava siten, että laitteet, joita kummatkin valmistusprosessit käyttävät on siirrettävissä uuden tuotteen puhdashuoneeseen siinä vaiheessa, kun vanhan tuotteen tuotantomäärä laskee uuden tuotteen tuotantomäärän alapuolelle. Käytännössä tämä tarkoitti sitä, että tässä vaiheessa oli piirrettävä kaksi pohjapiirrosta. Ensimmäinen piirros on esitetty kuvassa 26 ja tämä kuvaa tilannetta, jolloin uuden tuotteen tuotantoa käynnistetään ja tuotantomäärät ovat vähäisiä verrattuna vanhan tuotteen valmistusmääriin. Tämä takia kuvassa 26 esitetyssä kuvassa yhteiset tuotantolaitteet ovat vielä osa vanhan tuotteen alikokoonpanolinjaa. Kuvassa 27 esitelty toinen pohjapiirros toteutuu siinä vaiheessa, kun uuden tuotteen tuotantomäärä on nostettu täyteen kapasiteettiin.

Kuvassa 26 esitetty tilanne otetaan käyttöön ensin ja siinä uusi tuote jakaa yhteiset tuotantolaitteet vanhan tuotteen tuotantoprosessin kanssa. Tämä aiheuttaa hukkaa kumpaankin prosessiin, mutta koska uuden tuotteen tuotantomäärät ovat vielä tässä vaiheessa niin pieniä se ei aiheuta ylitsepääsemättömiä ongelmia. Kuvassa 26 harmaalla

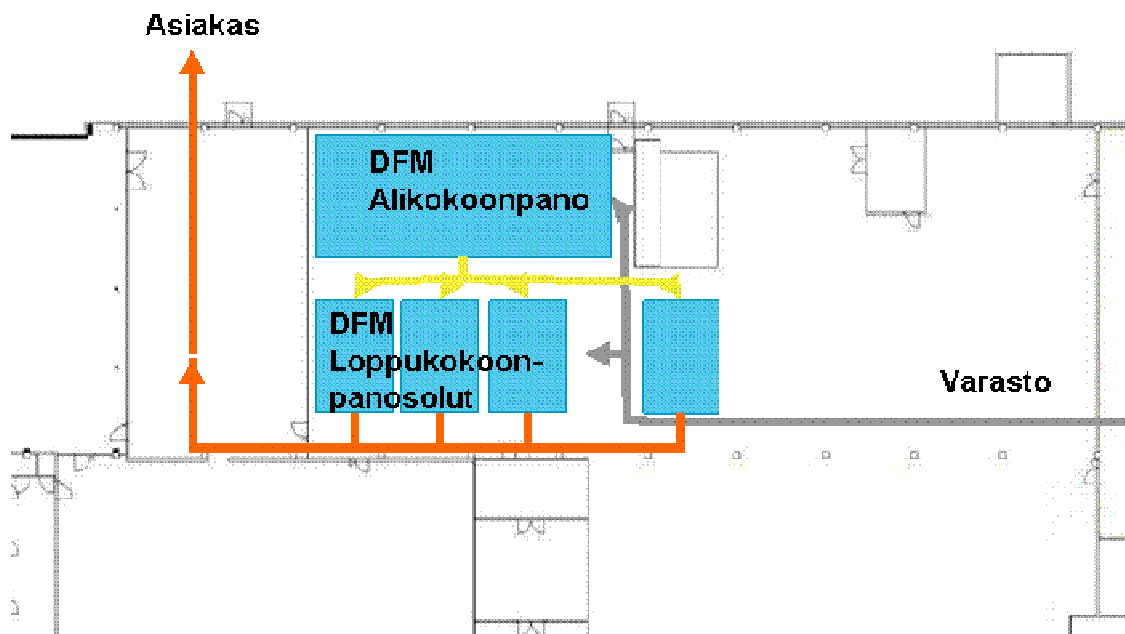
nuolella on kuvattu, miten komponenttivirrat tulevat menemään uuden tuotteen tuotannossa. Ne alkavat varastosta, josta komponentit täydennetään alikokoonpanolinjalla ja loppukokoonpanosolun luona oleviin supermarketteihin. Supermarketissa olevista komponenteista valmistetaan tuotteen alikokoonpanolinjassa alikokoonpanot. Puolivalmiit alikokoonpanot kulkevat keltaisen nuolen mukaisesti yhteisiin tuotantolaitteisiin ja sieltä edelleen loppukokoonpanosoluun. Loppukokoonpanosolussa tuotteet kokoonpannaan, kalibroidaan ja pakataan yhdenkappaleen virtauksessa. Valmiit tuotteet kuljetetaan oranssin nuolen mukaisesti lähettämöön, josta ne lähetetään asiakkaalle. Hukkaa prosessiin syntyy muun muassa siitä, että valmistusprosessissa alikokoonpanot joudutaan viemään alikokoonpanolinjalta yhteisille tuotantolaitteille ja nämä laitteet ovat osa vanhan tuotteen alikokoonpanolinjaa. Toisaalta materiaalivirrat ovat huomattavasti yksinkertaisemmat, kun verrataan kuvan 26 tilannetta kuvan 25 tilanteeseen. Tähän on syynä se, että uuden tuotteen valmistusprosessi on yksinkertaisempi kuin vanhan tuotteen. Lisäksi yrityksen tehtaan pohjapiirros muutoksen yhteydessä lähettämö siirretään rakennuksen toiseen päähän ja varastot toiseen päähän. Tämän lisäksi tavaraliikenteelle varataan käytävä, joka alkaa varastoilta kulkien tuotannon vierestä aina lähettämöön saakka. Käytävän avulla materiaalilogistiikka ei kulje henkilöliikenteen joukossa kuten ennen ja lisäksi suora käytävä lyhentää kuljetusmatkaa talon toisesta päästä toiseen.



Kuva 26. Tuotannon pohjapiirros siinä vaiheessa, kun vanha ja uusi tuote ovat yhtä aikaa tuotannossa. Harmaa nuoli kuvaa komponenttien virtausta varastosta supermarkettiin. Keltainen nuoli kuvaa keskeneräisen tuotannon kulkua tuotannossa. Oranssi nuoli kuvaa valmiiden tuotteiden kulkua tuotannosta asiakkaalle.

Kuvassa 27 on esitetty lopullinen malli uuden tuotteen tuotannon pohjapiirrokselta. Kuvassa 27 tuotannon materiaalivirrat on esitelty samalla tavalla kuin kuvissa 25 ja 26. Erona kuvan 26 tilanteeseen on se, että vanhan tuotantoprosessin kanssa yhteiset tuotantolaitteet on siirretty osaksi uuden tuotteen alikokoonpanolinjaa, jolloin prosessivaiheiden välistä voidaan poistaa ylimääräinen kuljettelu ja välivarastot. Eli prosessivaiheet on kytketty mahdollisimman tehokkaasti kiinni toisiinsa. Lisäksi kuvassa on neljä loppukokoonpanosolua uudelle tuotteelle, eli tämän pohjapiirroksen mukainen tilanne vallitsee tuotannossa siinä vaiheessa, kun vanhan tuotteen tuotanto

ajetaan alas ja uuden tuotantomäärät ovat maksimissa. Verrattaessa kuvaa 25 ja 27 havaitaan, että DFM-projektin tuloksena syntyvä valmistusprosessi on huomattavasti yksinkertaisempi kuin mitä vanhan tuotteen tuotanto oli.



Kuva 27. Tuotannon pohjapiirros siinä vaiheessa, kun pelkästään uusi tuote on tuotannossa. Harmaa nuoli kuvaa komponenttien virtausta varastosta supermarketiin. Keltainen nuoli kuvaa keskeneräisen tuotannon kulkua tuotannossa. Oranssi nuoli kuvaa valmiiden tuotteiden kulkua tuotannosta asiakkaalle.

6 Yhteenveto

Tämän työn tarkoituksena oli selvittää, mitä vaatimuksia lean-tuotantomenetelmien käyttäminen tuotannossa aiheuttaa uusien tuotteiden suunnittelulle ja niiden valmistusprosessin suunnittelulle. Tätä tarkoitusta varten tämän työn kirjallisuuosiossa perehdyttiin siihen mitä DFM tarkoittaa ja miten sitä on sovellettu. Kirjallisuuosan toinen keskeinen osa-alue oli lean. Lean-osiossa pyrittiin selvittämään miten kirjallisuudessa on käsitelty lean-ajattelun soveltamista tuotantoympäristöön. Erityisesti keskityttiin lean-tuotantosolujen suunnitteluun ja toteutukseen. Tämän työn esimerkkitapauksessa lähdettiin selvittämään, miten DFM-prosessi sopii yhteen lean-tuotannon kehittämisen kanssa uuden tuotteen suunnittelun kohdalla. Tarkoituksena oli selvittää, miten nämä kaksi asiaa voitaisiin yhdistää mahdollisimman tehokkaasti ja lisäksi, mitä edellytyksiä ne aiheuttavat toisilleen. Esimerkkitapauksessa sovellettiin esimerkkiyrityksen DFA-prosessia uuden tuotteen suunnittelun apuna. Esimerkissä käytiin läpi miten yrityksessä lähdettiin rakentamaan lean-tuotantoa. Esimerkissä rakennettiin U-solu vanhalle tuotteelle, jotta saadaan kerättyä informaatiota, siitä miten kyseinen tuote soveltuu U-solussa tehtäväksi. Tarkoituksena oli selvittää, mitkä ovat suurimmat haasteet liittyen tuotteen loppukokoonpanon tekemiseen U-solussa. Tätä kerättyä informaatiota käytettiin hyväksi uuden tuotteen suunnittelussa ja uuden tuotteen kohdalla pyrittiin siihen, että nämä suurimmat ongelmat, jotka liittyivät vanhan tuotteen loppukokoonpanoon U-solussa, olisi uuden tuotteen kohdalla ratkaistu.

Esimerkki yrityksessä havaittiin erittäin hyväksi käytännöksi se, että uusi tuotekehitysprojekti aloitettiin tekemällä vanhalle tuotteelle VSM. VSM:n teon yhteydessä kaikki, jotka osallistuivat projektiin mukaan pääsivät heti projektin aluksi selville siitä, miten nykyinen tuotantoprosessi toimii. Lisäksi VSM:n yhteydessä mietitään mikä olisi paras mahdollinen tapa tehdä tuotteita. Tästä perimmäisen tavoitteen VSM:stä lähdetään rakentamaan realistisempi VSM uudelle tuotteelle ja tässä versiossa on otettu jo huomioon niitä tosiasioita, jotka ovat esteenä perimmäisen tavoitteen VSM:n saavuttamiselle. Visio tulevasta tuotantoprosessista toimii hahmotelmana tuotekehitysprojektille DFM mielessä. Visio VSM on muodostettu yhteistyössä kaikkien tahojen kanssa, jotka ovat jollain tavalla osallisena tuotekehitysprojektissa. Tämän ansiosta kaikki projektiin osallistuneet tietävät, mitä asioita tuotteen tuotannossa tulee huomioida. Vision perusteella tunnistetaan ne keskeiset seikat tuotantoprosessista, joita tulee kehittää, jotta uuden tuotteen tuotannosta tulisi parempi, eli VSM toimii työlistana tuotantoprosessin ja tuotteen suunnittelijoille. VSM:n teon kannalta on erittäin tärkeää, että sen tekemiseen osallistuu kaikki tahot, jotka ovat osallisina tuotekehitysprojektissa. Tällä tavalla varmistetaan se, että kaikkien sisäisten asiakkaiden toiveet ja vaatimukset tulee otettua huomioon ja kirjattua ylös jo heti tuotekehitysprojektin alkuvaiheessa. Tekemällä VSM heti tuotekehitysprojektin alkuun varmistetaan siitä, että uuden tuotteen tuotannossa otetaan huomioon kaikki ongelmat, joita on havaittu vanhan tai vastaavan tuotteen tuotantoprosessissa. Kaikkein suurin etu mitä VSM:n tekemisestä tuotekehitysprojektissa saavutetaan on se, että se pakottaa osallistujat ajattelemaan uuden tuotteen tuotantoprosessia kokonaisuutena ja siten ehkäisee osaoptimointia.

Jotta suunniteltavasta tuotantoprosessista tulisi mahdollisimman tehokas on tärkeää, että jo visio VSM:n muodostus vaiheessa tuotteen virtaukseen koko tuotantoprosessin läpi kiinnitetään huomiota. Käytännössä tämä pyritään toteuttamaan siten, että tuotteen tuotantoprosessi toimii yhden kappaleen virtauksessa. Lisäksi virtauksen kannalta on hyvin tärkeää, että kaikki prosessivaiheet ovat hyvin lähellä toisiaan. Tämä korostuu

erityisesti silloin kun tuotteen tuotantoon tarvitaan tuotantolaitteita, joita ei voi enää tulevaisuudessa siirtää helposti.

Toinen lean-tuotannon kannalta keskeinen seikka, joka tulee ottaa jo tuotteen suunnittelussa huomioon on se, että tuotantoprosessia ohjaa tahtiaika. Tämä aiheuttaa sen, että kaikkien uuden tuotteen tuotannon prosessivaiheiden on oltava tahtiajan mukaisessa tahdissa. Kaikki prosessivaiheet on lean-tuotannossa kytketty toisiinsa ja tällöin täytyy pystyä varmistumaan siitä, että asiat tapahtuvat juuri oikeaan aikaan ja tämä pystytään varmistamaan tahtiajalla.

Tahtiaika vaikuttaa keskeisesti myös niihin tuotantolaitteisiin, joita lean-tuotantoprosessissa voidaan käyttää. Kaikkien tuotantolaitteiden koneajan, joita tullaan käyttämään uuden tuotteen tuotantoprosessissa, täytyy olla pienempi kuin mikä on tavoiteltu tahtiaika. Jos koneaika on suurempi, kuin tahtiaika joudutaan tuotantolaitetta käyttämään useamman kappaleen eräkoolla, mistä aiheutuu hukkaa tuotantoprosessiin. Lisäksi tuotantolaitteiden kohdalla on kiinnitettävä huomiota siihen, että tuotteesta ei suunnitella sellaista, että se on hankala asettaa tuotantolaitteisiin. Lean-tuotannossa tuotantolaitteiden asetusajojen tulisi olla hyvin pieniä, sillä tuotantoprosessista riippuen peräkkäiset tuotteet voivat olla hyvinkin erilaisia. Lisäksi kaikki ylimääräinen työ mitä tuotantolaitteelle tehdään, käynnistyksen lisäksi, on hukkaa. Erityisesti tuotantolaitteissa, jotka ovat osa sellaista tuotantoprosessia, jossa tehdään tuotteita nopealla tahtiajalla, tulisi tuotantolaitteella olla mahdollisuus purkaa itse itsensä. Tällöin työntekijä voi aina ladata tuotantolaitteen uudella tuotteella suoraan ilman, että hänen täytyy purkaa sitä. Tällä menetelmällä voidaan poistaa puolet tuotantolaitteen asetusajasta. Tärkein ominaisuus joka tuotantolaitteilla tulisi olla lean-tuotannossa, on se että ne pystyvät havaitsemaan vikatilanteen tai virheellisen tuotteen ja pysäyttämään oman toimintansa heti vikatilanteen sattuessa. Tällä varmistetaan se, että viat ja virheet havaitaan heti. Kun viat ja virheet havaitaan heti ja tuotanto pysähtyy samalla, tulee tuotantoprosessin ongelmat esille hyvin nopeasti, jolloin niihin on pakko puuttua saman tien. Tuotantolaitteita tulisi pystyä käyttämään lean-tuotannossa siten, että ne eivät käynnistyksen lisäksi tarvitse työntekijän läsnäoloa toimiakseen. Tämä mahdollistaa sen, että yksi työntekijä voi käyttää useampaa tuotantolaitetta kerralla, jolloin tuotantolaitteiden käyttöaste paranee ja työntekijän tehokkuus kasvaa.

Lean-tuotantoprosessin kannalta on myös keskeistä, että kaikessa materiaalin käsittelyssä noudatetaan imuohjautuvuutta. Tällä varmistetaan se että tuotannossa tehdään tuotteita, jotka asiakas on jo tilannut. Käytännössä tämä tarkoittaa, sitä, että alikokoonpanolinjat on linkitetty kanban-ohjauksella loppukokoonpanolinjaan. Eli asiakas imee tuotteet loppukokoonpanolinjasta ja loppukokoonpanolinja imee komponentit alikokoonpanolinjoilta.

Useimmissa tuotantoprosesseissa suurimman ajan tuote viettää varastossa tai kuljetettavana varastosta toiseen. Tämän takia on tärkeää, että tuotekehitysprojekti kiinnittää huomiota myös siihen, missä muodossa komponentit tilataan tuotantoon, Erityisesti tulisi minimoida materiaalin käsittelyyn liittyviä työvaiheita. Materiaalin tulisi tulla tuotantoon alihankkijalta valmiiksi pakattuna siten, että se voidaan ottaa käyttöön suoraan ja helposti siinä työpisteessä, missä sitä tarvitaan. Lisäksi materiaalin pakkauskokoon tulisi kiinnittää huomiota. Tällä ehkäistään se, että komponentteja puretaan alkuperäisistä paketeista ja siirretään niitä paremmin tuotantoon soveltuviin pakkauksiin. Projektin tulee määritellä minkälaisissa ja minkä kokoisissa pakkauksissa materiaalit tulevat tuotantoon. Lisäksi varastojen täydennys tulisi suunnitella

optimaaliseksi. Ideaali tilanteessa alihankkia toimittaisi komponentit suoraan tuotantoon juuri silloin kuin, niitä tarvitaan, mutta tämä on harvoin mahdollista.

Nykyaikaisissa tuotteissa käytetään paljon komponentteja, jotka ovat jäljitettäviä. Tämä tarkoittaa sitä, että tuotantoprosessissa täytyy pystyä keräämään talteen tietoa siitä, että mitkä komponentit ovat menneet mihinkin tuotteeseen. Tästä syntyy nopeasti suuri määrä tietoa, joka täytyy kerätä talteen eri tietojärjestelmiin. Tämä informaatiovirtojen suunnittelu täytyy tehdä huolellisesti, sillä muuten tietojen keräämisestä voi tulla hankalaa ja samalla tuotantoprosessiin syntyy hukkaa. Tämän tiedon keräämiseen voidaan vaikuttaa suunnittelemalla sen kerääminen hyvin ja lisäksi tiedonkeruuta voidaan helpottaa tuotesuunnittelun avulla. Esimerkiksi tuotteeseen voidaan suunnitella viivakoodeja tai RFID-tunnisteita, joiden avulla tietojen keräämisestä saadaan nopeaa ja varmaa.

Lean-tuotannossa on tärkeää, että tuotteet ovat helposti kokoonpantavia, sillä kuten hukan määritelmässä todettiin on yliprosessointi tai hankalat työvaiheet hukkaa valmistusprosessissa, josta tulee pyrkiä aktiivisesti eroon. Tuotteen suunnittelulla voidaan oleellisesti minimoida kokoonpanossa olevan hukan määrään.

Toinen seikka mikä havaittiin esimerkkitapauksen avulla on se, että tuotteiden pakkaus vie usein todella suuren ajan tuotteen kokonaistyöajasta loppukokoonpanossa. Pahimmillaan esimerkkituotteen kohdalla sen pakkaaminen vei yli kolmasosan koko loppukokoonpanon työajasta. Tuotteen suunnittelun kohdalla helposti keskitytään pelkästään tuotteen komponenttien suunnittelun viimeistelyyn, mutta pakkauksen suunnitteluun ei käytetä riittävästi aikaa. Tällöin tuotteen paketointi tulee viemää huomattavan suuren osan tuotteen loppukokoonpanoajasta.

Lean-tuotannossa pyritään siihen, että oikea materiaali on oikeassa paikassa oikeaan aikaan. Tästä seuraa se, että materiaalin tuonnin helpottamiseksi ja kokoonpanon yksinkertaistamiseksi erilaisten komponenttien määrää tuotannossa tulisi pienentää. Usein uusille tuotteille suunnitellaan monia komponentteja uudestaan. Jotta tuotannossa varastoja pystytään hallitsemaan helpommin täytyy pyrkiä käyttämään standardikomponentteja ja suunnitella tuotteet siten, että ne käyttävät mahdollisimman paljon näitä standardiosia. Osien standardointia täytyy tehdä koko yrityksen tasolla, jotta eri komponenttien määrää voidaan pienentää tuotannossa. Tämä helpottaa materiaalien tilausta ja varastojen hallintaa. Lisäksi, kun tilataan enemmän yhdenlaisia komponentteja, voidaan siirtyä käyttämään laadultaan parempia komponentteja.

DFM:n soveltamisella tuotekehitysprojektissa voi myös olla varjopuolia. Yksi keskeisistä periaatteista DFM:ssä on komponenttien määrän pienentäminen. DFM-periaatteiden mukaan jokainen komponentti, joka halutaan tuoda kokoonpanoon täytyy kyseenalaistaa ja sen tarpeellisuus arvioida kohdassa 2.4 esitettyjen ehtojen valossa. Jos kuitenkin komponenttien määrää jatkuvasti vähennetään yhdistämällä eri komponenttien toimintoja. Päädytään siihen, että tuote koostuu muutamasta erittäin monimutkaisesta osasta. Eli osa määrän jatkuva pienentäminen voi mennä joissain tapauksissa liiallisuuksiin. Mikäli yksittäisiin osiin liitetään liian monta toiminnallisuutta samaan, päädytään siihen tilanteeseen, että tämä yksittäinen komponentti on erittäin hankala valmistaa. Tämä johtaa siihen, että alihankkia, joka valmistaa osan hinnoittelee komponentin erittäin kalliiksi ja antaa sille hyvin pitkän toimitusajan, eli kaikki kustannus- ja aikasäästöt, mitä kokoonpantavuuden parannuksella saavutettiin menetetään itse osan valmistuksessa. Komponenttien määrän vähentämisessä täytyy olla tarkkana, muuten yksittäisistä komponenteista tulee liian monimutkaisia valmistaa. DFM-ajattelu pitäisi ulottaa myös niihin osiin, joita ei itse

valmisteta, eikä vain sysätä vaikeita valmistusvaiheita oman tuotantoprosessin ulkopuolelle.

Esimerkki yrityksessä tämä tuotekehitysprojekti oli ensimmäinen, jossa käytettiin DFM-menetelmiä ja suunniteltiin koko tuotantoprosessi lean-periaatteita noudattaen. Tästä kokeilusta saatujen tulosten perusteella tämä prosessi tulisi ottaa käyttöön kaikissa tulevilla tuotekehitysprojekteissa. DFM:n kannalta yksi tärkeimmistä asioista, joita esimerkkiyrityksessä tulisi tehdä on ankarasti standardoida komponenttivalikoimaan. Tämä tulisi erityisesti tehdä erilaisten kiinnikkeiden ja ruuvien kohdalla. Lisäksi suuria parannuksia voitaisiin saavuttaa ulottamalla tämä standardointi koskemaan myös pakkausmateriaaleja. Tällä hetkellä esimerkki yrityksessä käytetään, joka tuotteelle omia pakkausmateriaaleja ja pahimmillaan samalle tuotteelle voi olla useampia erilaisia pakkausmateriaalivaihtoehtoja. Esimerkkiyrityksessä tulisi myös jatkaa DFM:n viemistä vielä pidemmälle. Tällä hetkellä DFM-ajattelua käytetään niihin valmistusprosesseihin ja komponentteihin, jotka kootaan ja valmistetaan yrityksen omassa tuotannossa. DFM-ajattelua tulisi laajentaa vielä niihin komponentteihin, jotka valmistetaan yrityksen alihankkijoilla. Merkittäviä kustannussäästöjä voitaisiin saavuttaa, jos mietittäisiin yksittäisten komponenttien kohdalla niiden valmistettavuutta. Tällä hetkellä niiden komponenttien valmistettavuutta ei mietitä niin tarkasti kuin niiden, jotka valmistetaan ja kootaan omassa tuotannossa.

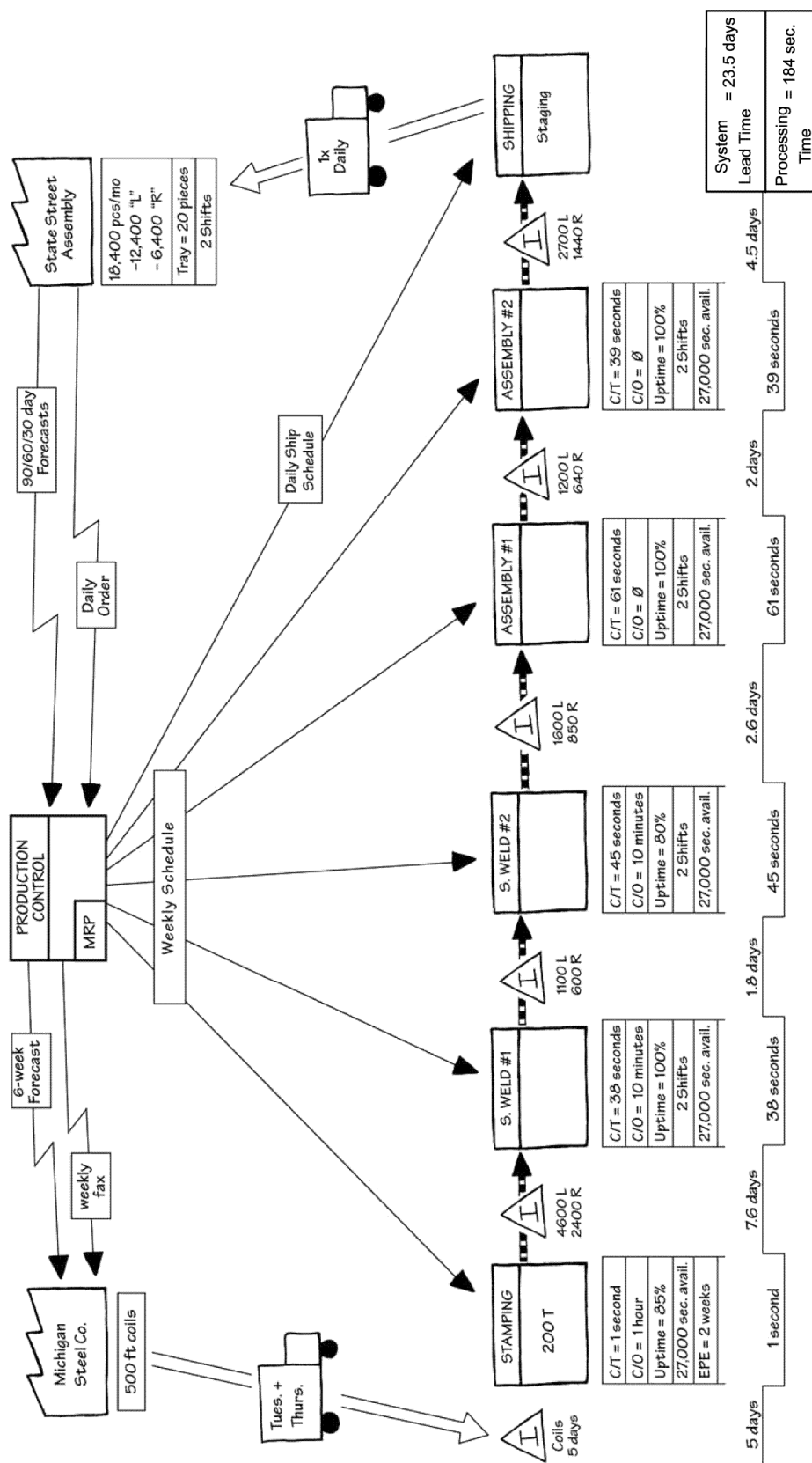
Viitteet

- [1] Andersson, D. M. *Design for Manufacturability & Concurrent Engineering; How to Design for Low Cost, Design in High Quality, Design for Lean Manufacture, and Design Quickly for Fast Production*, chapter 1, Cambria, CIM Press, 2008
- [2] O'Driscoll, M. Design for manufacture. *Journal of Materials Processing Technology*, 2002, vol 122, s. 318–321
- [3] Womack, J. P., Jones, D. T., Roos, D. *The machine that changed the world*, chapter 1, New York, Free Press, 1990
- [4] Sheu, D. D., Chen D. R. Backward design and cross-functional design management, *Computers & Industrial Engineering*, 2007, vol. 53, s.1–16
- [5] Kuo, T -C., Huang, S. H, Zhang, H-C. Design for manufacture and design for 'X':concepts, applications and perspectives. *Computers & Industrial Engineering*, 2001, vol. 41, s.241–260
- [6] Andersson, D. M. *Design for Manufacturability & Concurrent Engineering; How to Design for Low Cost, Design in High Quality, Design for Lean Manufacture, and Design Quickly for Fast Production*, chapter 2, Cambria, CIM Press, 2008
- [7] Mottonen, M., Harkonen, J., Belt, P., ja Haapasalo, H. Managerial view on design for manufacturing. *Industrial Management & Data Systems*, 2009, vol. 109 no. 6, s. 859-872
- [8] Andersson, D. M. *Design for Manufacturability & Concurrent Engineering; How to Design for Low Cost, Design in High Quality, Design for Lean Manufacture, and Design Quickly for Fast Production*, chapter 12, Cambria, CIM Press, 2008
- [9] Andersson, D. M. *Design for Manufacturability & Concurrent Engineering; How to Design for Low Cost, Design in High Quality, Design for Lean Manufacture, and Design Quickly for Fast Production*, chapter 3, Cambria, CIM Press, 2008
- [10] Andersson, D. M. *Design for Manufacturability & Concurrent Engineering; How to Design for Low Cost, Design in High Quality, Design for Lean Manufacture, and Design Quickly for Fast Production*, chapter 10, Cambria, CIM Press, 2008
- [11] Boothroyd, G. Design for Assembly- The Key to Design for Manufacture. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 1987, vol. 2, no. 3, s. 3-11
- [12] Zakaria, M. N. B. Design for Assembly and Application Using Hitachi Assemblability Evaluation Method. University Malaysia Pahang, Faculty of Mechanical Engineering, Pahag 2009.
- [13] Tötterström, J., Mäenpää, M., Villanen, H. *Laadunvarmistus: Teollinen koesuunnittelu ja FMEA*, Tampere 6.11.2001

- [14] Edwrds, K. I. Towards more strategic product design for manufacture and assembly: priorities for concurrent engineering. *Materials and Design*, 2002, vol. 23, s. 651–656
- [15] Andersson, D. M. *Design for Manufacturability & Concurrent Engineering; How to Design for Low Cost, Design in High Quality, Design for Lean Manufacture, and Design Quickly for Fast Production*, appendix B, Cambria, CIM Press, 2008
- [16] Ferrer, I., Rios, J., Ciurana J. An approach to integrate manufacturing process information in part design phases. *Journal of materials processing technology*, 2009, vol. 209, s. 2085–2091
- [17] Andersson, D. M. *Design for Manufacturability & Concurrent Engineering; How to Design for Low Cost, Design in High Quality, Design for Lean Manufacture, and Design Quickly for Fast Production*, chapter 5, Cambria, CIM Press, 2008
- [18] Leaney, P.G. ja Wittenberg, G. Tutorial: Design for assembling. The evaluation methods of Hitachi, Boothroyd and Lucas. *Assembly Automation*, 1992, vol.12, no. 2, s. 8-17
- [19] Andersson, D. M. *Design for Manufacturability & Concurrent Engineering; How to Design for Low Cost, Design in High Quality, Design for Lean Manufacture, and Design Quickly for Fast Production*, chapter 4, Cambria, CIM Press, 2008
- [20] Holweg, M. The genealogy of lean production. *Journal of Operations Management*, 2007, vol. 25, s. 420–437
- [21] Narusava, T., Shook, J., *Kaizen Express: The second edition*, Nikkan, 2008
- [22] Womack, J. P., Jones, D. T, *Lean thinking; Banish waste and create wealth in your corporation; Revised and Updated*, Part 1, Free Press, 2003
- [23] Lander, E. ja Liker, J. K. The Toyota Production System and art: making highly customized and creative products the Toyota way. *International Journal of Production Research*, 2007, vol. 45, no. 16, s. 3681–3698
- [24] Liker, J., *The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*. McGraw-Hill. 2004
- [25] Emiliani, M. L., Stec, D. J., Using value-stream maps to improve leadership, *The Leadership & Organization Development Journal*, 2004, vol. 25, no. 8, s. 622-645
- [26] Liker, J., Meier, D. *The Toyota Way Fieldbook: A Practical Guide for Implementing Toyota's 4Ps*. chapter 2. McGraw-Hill. 2005
- [27] Liker, J., Morgan, J. M., The Toyota Way in Services: The Case of Lean Product Development, *Academy of Management Perspectives*, 2006, s. 5-20
- [28] Liker, J., *The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*. Principle 2, McGraw-Hill. 2004

- [29] J.T Black, Design rules for implementing the Toyota Production System, *International Journal of Production Research*, 2007, vol. 45, no. 16, s. 3639–3664
- [30] Baudin, M., *Lean assembly: the nuts and bolts of making assembly operations flow*, Productivity Press, 2002
- [31] Liker, J., Meier, D. *The Toyota Way Fieldbook: A Practical Guide for Implementing Toyota's 4Ps*. chapter 5. McGraw-Hill. 2005
- [32] Sugimoria, Y., Kusunokia, K., Choa, F., Uchikawaa, S., Toyota production system and Kanban system Materialization of just-intime and respect-for-human system, *International Journal of Production Research*, vol. 15, no. 6, s. 553 — 564
- [33] Shingo, S., *A Revolution in Manufacturing: The SMED System*, Productivity Press, 1985
- [34] Liker, J., Meier, D. *The Toyota Way Fieldbook: A Practical Guide for Implementing Toyota's 4Ps*. chapter 8. McGraw-Hill. 2005
- [35] Liker, J., Meier, D. *The Toyota Way Fieldbook: A Practical Guide for Implementing Toyota's 4Ps*. chapter 7. McGraw-Hill. 2005
- [36] Liker, J., *The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*. Chapter 5, McGraw-Hill. 2004
- [37] Liker, J., Meier, D. *The Toyota Way Fieldbook: A Practical Guide for Implementing Toyota's 4Ps*. chapter 1. McGraw-Hill. 2005
- [38] Liker, J., *The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*. Principle 7, McGraw-Hill. 2004
- [39] Miltenburg, J. U-shaped production lines: A review of theory and practice, *Int. J. Production Economics*, 2001, vol. 70, s. 201-214
- [40] Miyake, D.I., The Shift from Belt Conveyor Line to Work-cell Based Assembly Systems to Cope with Increasing Demand Variation and Fluctuation in The Japanese Electronics Industries. Universidade de São Paulo, Department of Production Engineering, São Paulo 2006

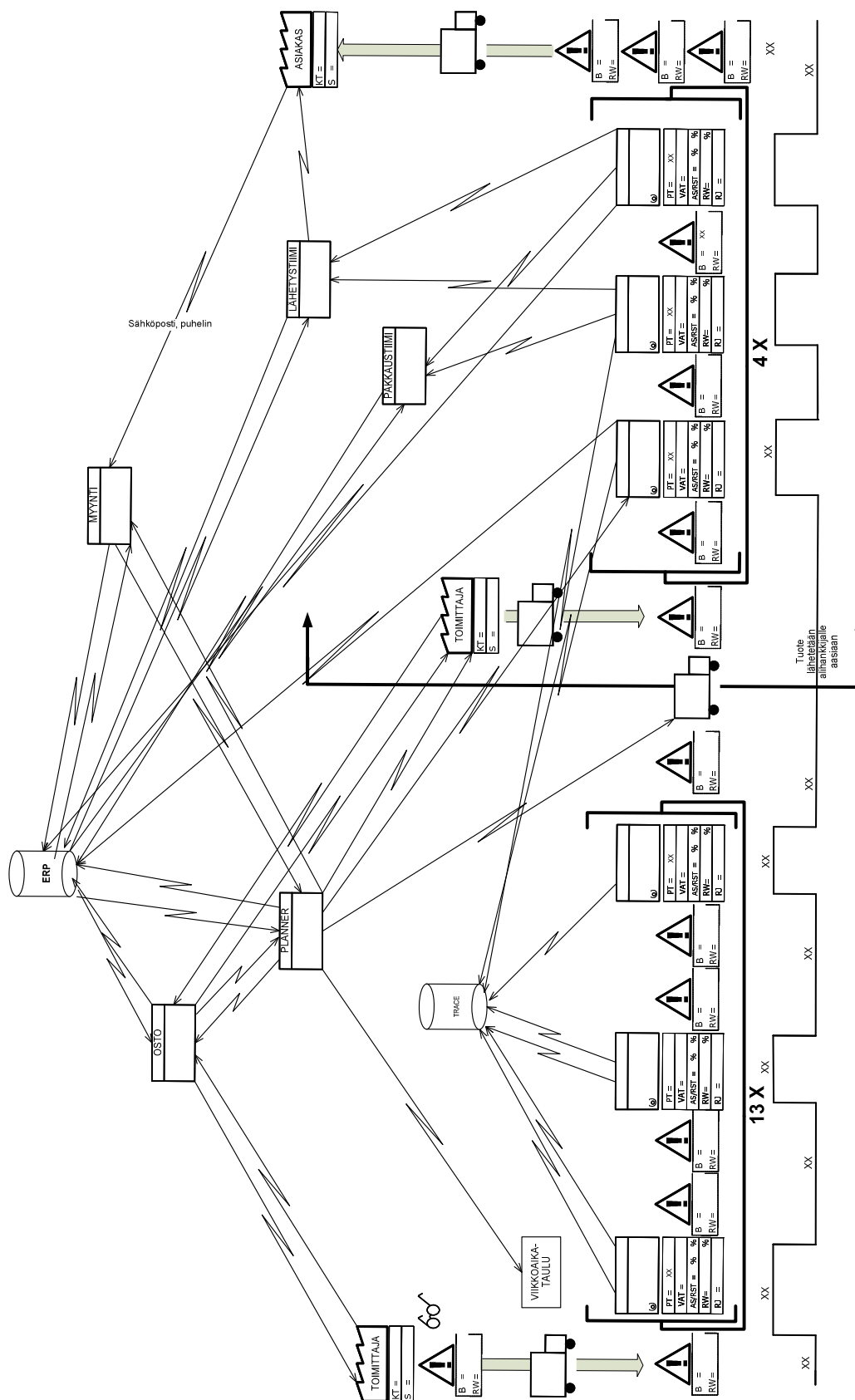
Liite A



Note: C/T = cycle time; C/O = change-over time; EPE = every part every ____

Source: Womack (2003)

Kuva A1. Esimerkki valmistusprosessin arvovirtakartasta[25].



Kuva A2. Nykytilan VSM. Laatiokilla kuvataan prosessivaiheita, nuolet ovat informaatiota ja kolmiot ovat puskureita. Alkupäässä hakasulkeissa oleva osio toistuu kuvassa 13 kertaa ja loppupään hakasulkeissa oleva osio toistuu 4 kertaa.

